

80 Jahre elektrische Maschinen

Von Heinrich Sequenz, Wien *)

DK 621.313(091)

Zum zweiten Male in meinem Leben habe ich die Ehre, als Wiener in Berlin einen festlichen Vortrag halten zu dürfen. Etwa genau vor 18 Jahren, nämlich am 21. Januar 1942, durfte ich vor dem Verband Deutscher Elektrotechniker und vor dem Verein Deutscher Ingenieure in einem Vortrage die Bedeutung der Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips durch *Werner von Siemens* würdigen, denn es waren damals 75 Jahre, daß *Werner von Siemens* über diese Erfindung der Königlichen Akademie der Wissenschaften in Berlin berichtete.

In meinem Vortrage im Jahre 1942 mußte ich, um die Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips als Markstein in der Entwicklung der elektrischen Maschinen zu kennzeichnen, einen Überblick über die ersten elektrischen Maschinen geben. Es erscheint mir folgerichtig, wenn es mir heute vergönnt ist, anlässlich der Feier des 80-jährigen Bestehens des Elektrotechnischen Vereins in Berlin über die Entwicklungsrichtungen im Bau elektrischer Maschinen in diesen 80 Jahren einiges zu sagen.

Wert einer Rückschau auf die Entwicklungsgeschichte eines Zweiges der Technik

Es erhebt sich die Frage, ob eine solche Rückschau auf einen Entwicklungszweig der Technik von Bedeutung ist und ob der Techniker überhaupt das Bedürfnis hegt, sich mit der Geschichte seiner eigenen Wissenschaft zu befassen. Darauf hat der bekannte Geschichtsforscher und Professor an der Wiener Universität *Heinrich Ritter von Srbik* bei der Eröffnung der Ausstellung „Österreichs Technik in Dokumenten der Zeit“ am 19. September 1930 in der Wiener „Albertina“ treffend geantwortet, als er ausführte, daß die Beseeltheit der technischen Schöpfung durch den Geist des schaffenden Einzelmenschen und die relative Bindung des Individuums durch seine Zeit durch einen solchen Umblick vor Augen geführt werden. Ein solcher Überblick über eine Entwicklung eines Zweiges der Technik führt uns auch zu dem eigentlichen Mittelpunkt aller Geschichte, dem Menschen selbst hin, führt uns zur Höhe und zur Tragik des Menschen und gewinnt dadurch schließlich auch seelische, gemüthafte Werte. „Er zeigt den Triumph des Genius des einzelnen in den großen Erfindungen, zeigt aber auch, wie dieser einzelne gefesselt ist durch das geistige und ökonomische Entwicklungsstadium seiner Zeit und wie es das Schicksal vieler schöpferischer Geister wurde, von den Mitlebenden verkannt zu werden, anscheinend fruchtlos den harten Lebenskampf zu kämpfen und erst von der Nachwelt gewürdigt zu werden. Über die Höhe und Tiefe des Einzeldaseins hinaus aber erwächst uns die allgemeine Wahrheit, daß der Weg zur Erkenntnis über den Irrtum führt und daß nichts verfehlter ist, als stolz auf die eigene

Stufe des Wissens und Schaffens über die Vergangenheit sich zu erheben.“

Universitätsprofessor *Heinrich von Srbik* dürfte in Berlin nicht ganz unbekannt sein, denn er hielt im Winter 1935/1936 an der Berliner Universität drei Vorträge über Österreich in der deutschen Geschichte, die großen Anklang fanden mit Rücksicht auf die damaligen politischen Gegebenheiten in Deutschland und in Österreich.

Nachdem der Sinn und die Berechtigung eines Überblickes auf die Entwicklung der elektrischen Maschinen in den vergangenen 80 Jahren begründet und bewiesen wurden, darf ich mit diesem Gegenstande beginnen.

Gleichstrommaschinen

Um das Jahr 1880, also zur Zeit der Gründung des Elektrotechnischen Vereins in Berlin, hatten die Gleichstrommaschinen die ersten Stufen ihrer Entwicklung zurückgelegt, sie waren damals die vorherrschenden Maschinen (Bild 1). Der Anker war entweder eine Siemenssche Trommel oder der Grammesche Ring. Die geschlossene

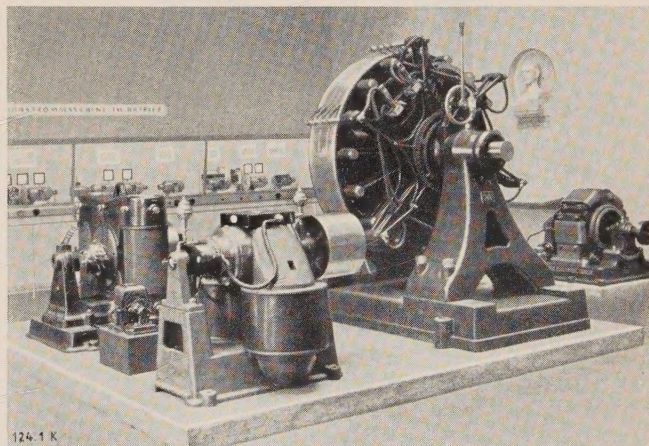


Bild 1. Gleichstrommaschinen im historischen Saal der Abteilung Starkstromtechnik des Deutschen Museums, München.

Ankerwicklung wurde zu einem Stromwender geführt, der aus Gußeisen, Stahl oder Rotguß und erst später aus Kupfer hergestellt wurde. Auf diesem Stromwender saßen Schleifkontakte aus Drahtgewebe oder Drahtbündeln. Die Geschwindigkeit am Ankerumfang war auf etwa 15 m/s begrenzt. Das Magnetgestell war zweipolig. Da die Maschine zu dieser Zeit vor allem zur Speisung von Bogenlampen und für Zwecke der Elektrolyse verwendet wurde, schaltete man die Erregerwicklung in Reihe mit der Ankerwicklung. Die Leistung dieser Maschinen überstieg nur selten 10 bis 15 PS. Eine Berechnung der Maschinen, wie wir sie heute kennen, war damals nicht möglich.

*) Prof. Dr. techn. Dr.-Ing. Dr. phil. Dr.-Ing. E. h. *H. Sequenz* ist Vorstand des Institutes für Elektrische Anlagen der TH Wien. Festvortrag am 12. Dezember 1959 anlässlich des 80-jährigen Bestehens des Elektrotechnischen Vereins Berlin.

In das Jahrzehnt von 1880 bis 1890 fallen dann die Schaffung der Kohlenbürsten um 1885 in England und in den USA, die Verwendung der Nebenschluß- und Doppelschlußschaltung, die Einführung verschiedener Bauformen für die Magnete, z. B. der Hufeisentyp, die Erfindung des Nutenankers durch den Schweden *Wenström* im Jahre 1882, die Bekanntgabe der Wendepole und der Kompensation durch den Holländer *Menges* im Jahre 1884 usw. Schließlich

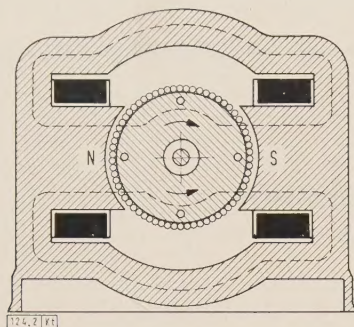


Bild 2. Zweipolige Maschine von Lahmeyer.

konnten die ersten Grundlagen für die Vorausberechnung der Maschinen durch die Arbeiten von *Fröhlich* und *Hopkinson* gewonnen werden.

In der Zeit der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts bis zur Jahrhundertwende bemühte man sich um die endgültige Form der Gleichstrommaschinen. *Wilhelm Lahmeyer* baute seine Maschinen (Bild 2) bereits mit einem geschlos-

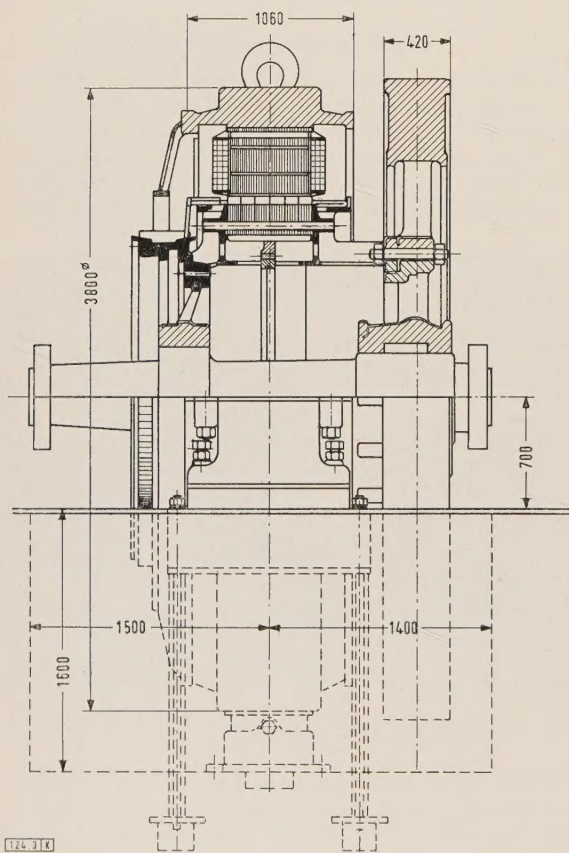


Bild 3. Gleichstrommaschine der Maschinenfabrik Leopoldau (1900), Schnittzeichnung.

senen Außenpoljoch, und die Trommelwicklung von *Heiner-Altenack* mit genutetem Anker und Formspulen setzte sich durch. Die theoretische Forschung ersetzte nach und nach das „Fingerspitzengefühl“, das die alten Pioniere des Elektromaschinenbaues noch bei ihren Arbeiten leiten mußte.

In diesem Zeitabschnitt entwickelten auch *Thury* und Mitarbeiter der Firma Oerlikon in der Schweiz die Energieübertragung mit Gleichstrom mit Spannungen von 12 kV, und *Pichelmayer* begann sein Wirken als Leiter der Maschinenfabrik Leopoldau von Siemens & Halske in Wien. Später lehrte er als Professor an der Wiener Technischen Hochschule. Ihm ist es zu verdanken, daß damals in Leopoldau eine Wiener Schule des Elektromaschinenbaues entstand, in der das Zusammenspiel der maschinenbaulichen Gestaltungskunst mit den Forderungen der Elektrotechnik gepflegt wurde. Auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1900 wurden die von der Leopoldauer Fabrik gebauten Maschinen (Bild 3), unter denen sich auch eine Gleichstrommaschine für 1000 kW und 550 V bei 95 U/min befand, zu den besten und schönsten Maschinen der Ausstellung gezählt, und *Pichelmayer* und *Ossanna*, der spätere Professor an der Technischen Hochschule in München, erhielten die goldene Medaille. Noch heute wird die von *Pichelmayer* aufgestellte Formel für die Stromwendespannung benutzt.

Schon im Jahre 1895 gaben Professor *Albert von Ettingshausen* von der Grazer Technischen Hochschule und *Franz Pichler*, der Gründer der Elin-AG für elektrische Industrie in Weiz in der Steiermark, eine Dreileitermaschine (Bild 4) an, und *Ossanna*, ein gebürtiger Südtiroler, hielt beim

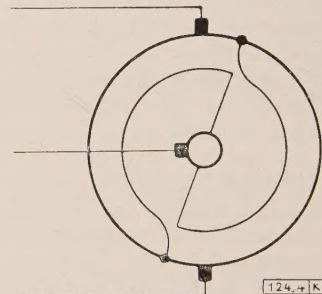


Bild 4. Ankerwicklungen der Dreileitermaschine von Franz Pichler und Professor Albert von Ettingshausen.

Elektrotechnikerkongreß in Wien im Jahre 1899 einen Vortrag über Schaltungen mit aufgeschnittenen Gleichstromwicklungen, von denen eine Reihe von Siemens & Halske zum Patent angemeldet wurde.

Auf die Zeit nach der Jahrhundertwende passen die Worte, die *Pichelmayer* im Jahre 1913 über die Entwicklung des Elektromaschinenbaues in den letzten 30 Jahren schrieb: „Jeder Rückblick auf eine längere Periode technischen Schaffens erfüllt uns mit immer neuem Staunen über die Fruchtbarkeit des Bautriebes und der formbildenden Kraft, die in uns Menschen gelegt ist. Diese Fruchtbarkeit ist von jeher besonders groß und merkwürdig auf dem Gebiete des Maschinenbaues gewesen, der aus dem Boden der Naturerkenntnis beständig neue, noch nicht dagewesene Formen durch die Notwendigkeit und die wirtschaftlichen Kräfte erschafft. Im Elektromaschinenbau tritt dies besonders deutlich hervor, denn, was wir da an zahlreichen neuen Maschinegebilden entstehen sahen, wurde in der Zeit der Anfänge nicht geahnt und daher nicht erstrebt; sie sind gewachsen wie die Pflanzen aus dem Samenkorn, und es

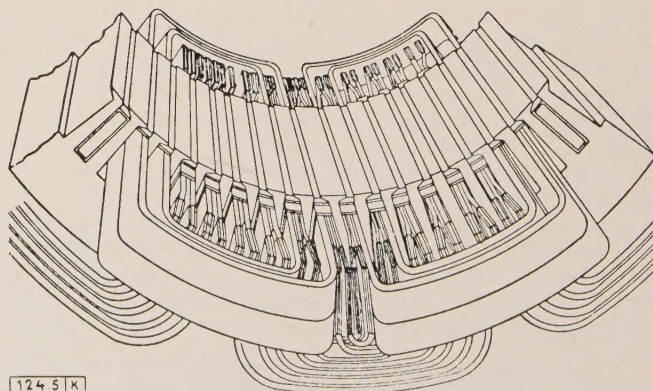


Bild 5. Kompensations- und Feldwicklungen nach Max Déri.

wäre müßig, darüber zu streiten, ob Keim oder Wachstum bedeutender waren."

Die Gleichstrommaschine eroberte sich die Großantriebe mit dem Leonard-Ilgner-System. Die dabei notwendige Feldregelung in weiten Grenzen und die Überlastbarkeit waren nur durch den Einbau von Wendepolen möglich, die, wie schon gesagt wurde, bereits früher bekannt waren, aber jetzt erst ihren Siegeslauf begannen. Auch die Kompensationswicklung (Bild 5) wurde durch *Max Déri*, einen Ungarn, zu neuem Leben erweckt. Als er sich etwa zwei Jahre vor der Jahrhundertwende die Aufgabe stellte, die Stromwendung der Gleichstrommaschine zu verbessern, kam er auf den Gedanken, sowohl die Feldwicklung als auch die

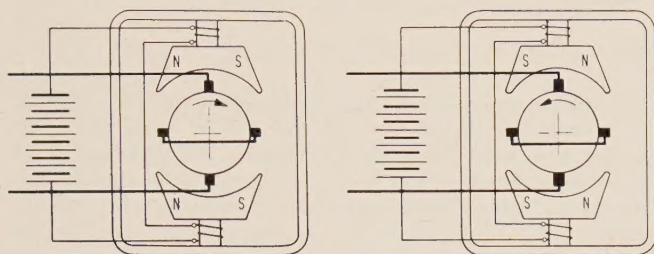


Bild 6. Aufbau der Querfeldmaschine von Emanuel Rosenberg.

das Ankerfeld aufhebende Kompensationswicklung in einem dem Drehstromständer nachgebildeten Eisenkörper unterzubringen, so daß die Erregerwicklung und die Kompensationswicklung gleichmäßig am Ständerumfang verteilt wurden, wie etwa bei einem Einphasen-Reihenschlußmotor. Die Durchflutung der Kompensationswicklung wurde größer als die Ankerdurchflutung gewählt, so daß dieser Durchflutungsunterschied ein dem Ankerstrom verhältnismäßiges Kommutierungsfeld erzeugt. Diese Bauart konnte sich aber für die Gleichstrommaschinen nicht einbürgern, obwohl sie seinerzeit von der Österreichischen Union Elektrizitätsgesellschaft und mit einigen Änderungen von Brown, Boveri & Cie. übernommen wurde. Im Jahre 1905 schuf die Firma Siemens & Halske die noch heute gebräuchliche Form mit ausgeprägten Erregerpolen, Wendepolen und einer Kompensationswicklung, die in den Schuhen der Hauptpole untergebracht ist.

Neben den Gleichstrommaschinen in den Leonardsätzen für den Antrieb von Fördermaschinen und Walzwerken nahmen die Gleichstrom-Turbogeneratoren einen besonderen Platz ein, die zuerst von *Ch. E. L. Brown*, dem Gründer

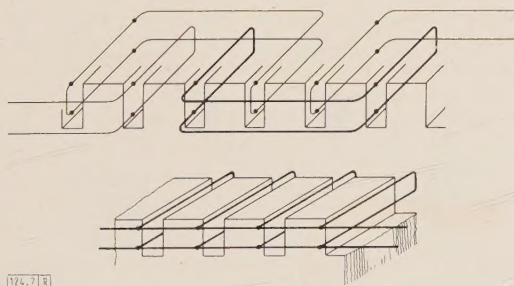


Bild 7. Nutendämpfer nach Ludwig Dreyfus.

der Firma Brown, Boveri & Cie., ausgebildet wurden. Die Umfangsgeschwindigkeiten von 80 m/s am Anker und von 45 m/s am Stromwender machten neue Konstruktionen notwendig. Diese Turbogeneratoren wurden zur Speisung von Gleichstromnetzen und Straßenbahnen verwendet.

Eine fruchtbare Erfindung war die Entwicklung der Querfeldmaschine (Bild 6) des Wiener *Emanuel Rosenberg* im Jahre 1904. Diese Maschine stellt eine geistreiche Vereinigung eines Gleichstrom-Hauptgenerators mit einer Erregermaschine dar und war ursprünglich als Zugbeleuchtungsmaschine gedacht. *Rosenberg* ging 20 Jahre später

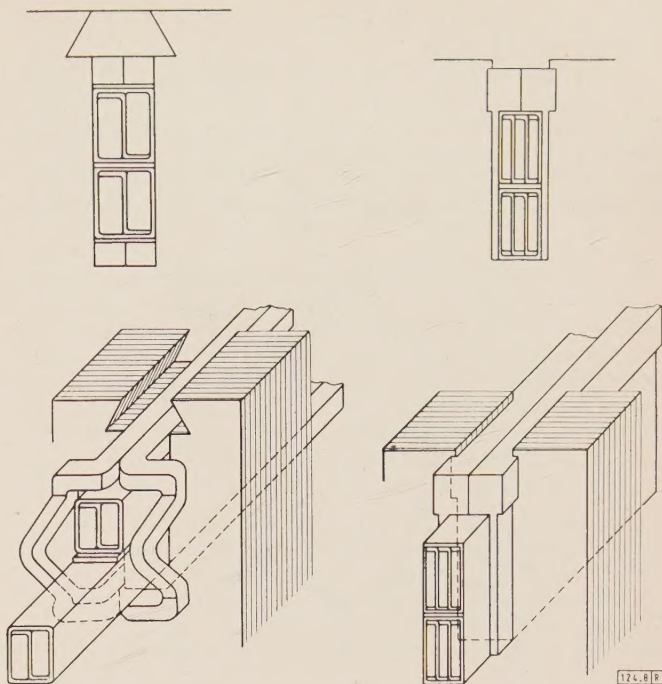


Bild 8. Nutendämpfer nach Carl Trettin.

daran, diese Maschine als Schweißgenerator umzubilden und sie mit Tauchpolen zu versehen, durch die sich der Kurzschlußstrom einstellen läßt.

Damit kommen wir aber schon in die Zeit nach dem Zusammenbruch im Jahre 1918. Bei den Gleichstrommaschinen hätte wohl kaum jemand an die Möglichkeit gedacht, daß neue wesentliche Entwicklungen sich einstellen könnten. Und doch setzten an diesem schon dürr geglaubten Baume wieder grüne Zweige an.

Im September des Jahres 1929 wurde ein Preis der Stiftung George Montefiore in Paris *Joseph-Maxime Pestarini*, Ingenieur in Paris, verliehen für seine Arbeit über die Metadyne oder die Zwischenbürstenmaschine. Solche Maschinen wurden vor allem in Frankreich, England, Italien und in den Vereinigten Staaten gebaut. Die General Electric Company in Amerika entwickelte in Zusammenarbeit mit *Pestarini* nach 1933 eine Generator-Metadyne als Verstärkermaschine, auch Amplidyne genannt.

Es muß aber hervorgehoben werden, daß sich sowohl die Verstärkermaschinen als auch die Zwischenbürstenmaschinen zum Teil auf das Querfeldprinzip *Rosenbergs* stützen.

Zur Verbesserung der Stromwendung großer Gleichstrommaschinen wurden zu Beginn der zwanziger Jahre Kurzschlußwicklungen oder Nutendämpfer (Bild 7) von *L. Dreyfus* und Dämpferahmen und massive Nutendämpfer (Bild 8) von *C. Trettin* vorgeschlagen, durch welche die Stromwendespannung bei schnellaufenden großen Maschinen verkleinert werden kann.

Im Jahre 1924 meldete *W. H. Powell* der Allis-Chalmers Manufacturing Company (Milwaukee, Wisconsin) eine Wicklung für Gleichstrommaschinen zum Patent an, die aus einer Verbindung von Schleifen- und Wellenwicklungen besteht und nach der Form ihrer Wicklungseinheiten „Froschbeinwicklung“ (Bild 9) getauft wurde. Diese Wicklungen machen Ausgleichverbindungen überflüssig, sie sind also selbstausgleichende Stromwenderwicklungen. Sie sind nicht auf Gleichstrommaschinen beschränkt, sondern sie können mit Vorteil auch bei Drehstrom-Kommutatormaschinen benutzt werden. Diese Wicklungsart wurde in den folgenden Jahren von Brown, Boveri & Cie., von *K. Novak*, Prag, *W. Kauders*, Prag, und von *H. Sequenz*, Wien, weiterentwickelt. Als Vorläufer dieser selbstausgleichenden Stromwenderwicklungen ist der Stromwenderanker mit mehreren auf die gleichen Stege geschalteten Wicklungen von *Marius*

Latour in Paris anzusehen, der im Jahre 1910 im Deutschen Reiche patentiert wurde.

In die Zeit zwischen den beiden Weltkriegen fällt auch die Entwicklung einiger Bauarten von Gleichstrom-Lichtbogen-Schweißmaschinen. Daß E. Rosenberg seine Quersfeldmaschine 1925 als Schweißgenerator (Bild 10) baute, wurde schon erwähnt. Von A. Grabner, Graz, stammt ein Dreipol-Schweißgenerator mit einem Tauchpol, der 1935 angegeben

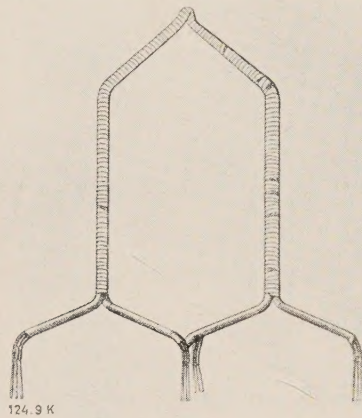


Bild 9. Spule einer Froschbeinwicklung für einen Gleichstromgenerator 100 kW, 250 V bei 1200 U/min.

wurde. Weitere Schaltungen für Lichtbogen-Schweißmaschinen gaben Anfang der dreißiger Jahre Professor K. J. Schenfer in Moskau, B. M. Pljuschtsch in Baku, K. L. Hansen und andere an.

Zu den größten Gleichstrommaschinen zählen wohl die Motoren für Umkehrwalzwerke. Im zweiten Weltkriege wurde in Deutschland ein Doppelanker-Umkehrwalzmotor zum Antrieb einer Panzerplattenstraße für 650 tm Höchstdrehmoment bei ± 30 U/min entsprechend 20 000 kW Höchstleistung bei 2000 V gebaut. Die Grenzen für die Höchstleistung sind für einen Einfachanker-Motor neben den elektrischen und magnetischen Beanspruchungen die Strom-

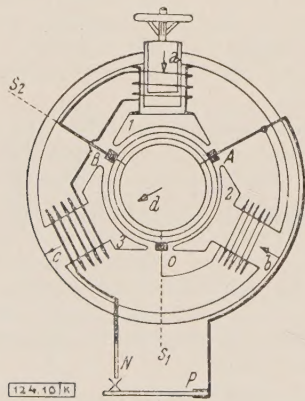


Bild 10. Schaltung eines dreipoligen Gleichstrom-Lichtbogen-Schweißgenerators.

wendespannung, die Segmentspannung und ein Höchstwert für den Ankerdurchmesser, der mit Rücksicht auf den Transport mit der Bahn gegeben ist. Mit diesen Werten ergibt sich eine Höchstleistung von etwa 23 MW, so daß die höchste Ausschaltleistung für Umkehrwalzenstraßen mit Doppelmotoren 46 MW wird.

In einem Überblick über die Entwicklungsgeschichte der Gleichstrommaschinen darf die Unipolarmaschine nicht fehlen. Nach der Jahrhundertwende baute die General Electric Company große Unipolarmaschinen bis 500 V für Dampfturbinenantrieb. Die Siemens-Schuckertwerke setzten sich mit dem Erfinder dieser Maschinen, Noeggerath, in

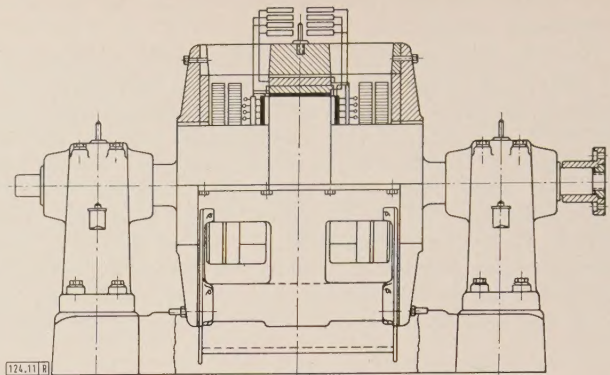


Bild 11. Unipolarmaschine für 14 V, 50 kA bei 750 U/min nach E. Poirson.

Verbindung, entwickelten Unipolarmaschinen für 180 kW, 220 V und 3000 U/min und 630 kW für 70 und 140 V, erkannten aber bald die Aussichtslosigkeit, Unipolarmaschinen mit Turbinengeschwindigkeiten und Hintereinanderschaltung der einzelnen Spannungen zu betreiben. Zu Beginn des zweiten Weltkrieges trat die Unipolarmaschine als Niederspannungs-Hochstrommaschine für Elektrolyseanlagen mit den anderen Gleichstrommaschinen und den Gleichrichtern in Wettbewerb. Der Franzose E. Poirson baute 1930 eine Unipolarmaschine für 7 V, 15 kA und 1800 U/min und stellte 1937 auf der Pariser Weltausstellung eine größere Maschine für 14 V, 50 kA und 750 U/min aus (Bild 11). Der Russe B. W. Kostin gab vor dem zweiten Weltkriege einen Unipolargenerator an, mit dem er bis zu 40 V und 300 kA erzeugen wollte (Bild 12).

Nach dieser Rückschau auf die Entwicklung der Gleichstrommaschinen wollen wir eine besinnliche Pause einlegen, und uns vor Augen halten, wieviel Entdeckungen und Erfindungsgedanken notwendig waren, um diese Vielfalt von Maschinen einer einzigen Art zu schaffen. Drängt sich da

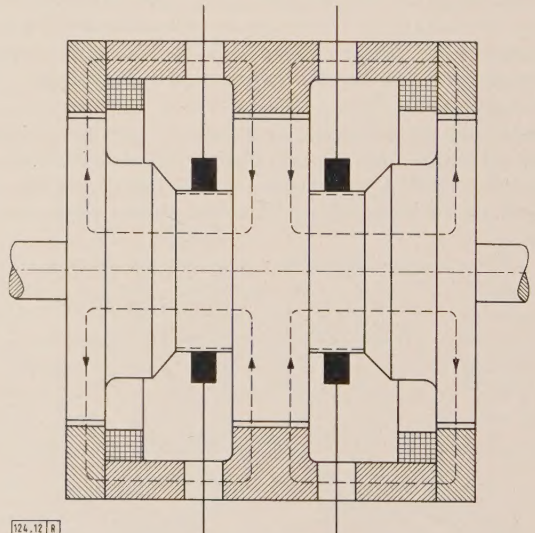


Bild 12. Unipolarmaschine für 40 V, 300 kA nach B. W. Kostin.

nicht das Bedürfnis auf, über den Einfall, über die Inspiration, Intuition in der Technik überhaupt ein paar Worte zu sagen? Die schöpferische Eingebung ist doch die fesselndste Schöpfungsphase in der Technik.

E. Rosenberg, der Erfinder der Quersfeldmaschine, erzählte einmal, daß er bei dem Entwurfe der ersten Lichtbogen-Schweißmaschine für 200 A zur Reihenschlußwicklung einen regelbaren Widerstand parallelschaltete, um die Maschine auch mit kleinerem Strom verwenden zu können. Diese Maschine aber polarisierte sich dauernd um, denn bei einem kurzgeschlossenen äußeren Stromkreis fließt ein großer

Ankerstrom, der seinen Weg im ersten Augenblick durch den Parallelwiderstand nimmt, so daß die entmagnetisierende Wirkung des Ankers im Stromstoß das schwächere Feld überwindet und umpolarisiert. „Ich sehnte mich nach einem elastischen Magnetschenkel“, sagte *Rosenberg*, „der nach Belieben dicker oder dünner gemacht werden kann; dann wäre kein Parallelwiderstand notwendig.“ Zur selben Zeit gingen ihm aber auch Sorgen ganz anderer Art durch den Kopf. Es hatten sich im Fabrikhofe überflüssige Gasrohre angehäuft, und *Rosenberg* sprach mit dem Werkstättenleiter über ihre Verwendung. Durch das gleichzeitige Bestehen der zwei so verschiedenartigen Sorgen im Gehirn ergab sich plötzlich der Gedanke, den elastischen Pol dadurch herzustellen, daß man ein Rohr verwendete, in dem ein massives Eisenstück verschoben werden könnte: Der Tauchpol war erfunden.

Aus dieser Erzählung geht wieder die bekannte Tatsache hervor, daß der sicherste Weg zur Vorbereitung eines glücklichen Einfalles immer das Nachdenken, das angestrengte Suchen ist. Erst ein vorausgegangenes Studium aller mit dem zu lösenden Problem in Zusammenhang stehenden Gesetzmäßigkeiten schafft eine für das Erfinden günstige Konstellation, ist die Bodenbereitung der Einfälle. Die plötzlichen, oft sehnlichst erwarteten und dann doch irgendwie unerwarteten Eingebungen und Inspirationen sind nichts anderes als das Bewußtwerden des Ergebnisses der verborgenen, aber ständigen und stetigen Arbeit des Unterbewußtseins. Man darf ja nicht glauben, daß es unnütz ist, zu arbeiten, daß die Entdeckungen und Erfindungen von selbst kommen und daß es genügt, spazieren zu gehen, um sie zu machen. Kein Techniker kann sich darauf verlassen, daß ihm von selber eines Tages oder Nachts etwas einfallen wird. *F. Kesselring* wies darauf hin, daß neue Ideen oft das Ergebnis vielfacher Kombinationen von irgendwo im Gedächtnis aufbewahrten Eindrücken sind. Es ist daher für den erfinderischen Erfolg von Wichtigkeit, sich möglichst viele grundsätzliche Zusammenhänge einzuprägen, wobei es jedoch nicht so sehr darauf ankommt, alle Einzelheiten immerfort gegenwärtig zu haben, als vielmehr zu wissen, daß solche Zusammenhänge überhaupt bestehen.

Wechselstrommaschinen

Wir wenden uns nun den Wechselstrommaschinen zu. Das Jahrzehnt nach der Gründung des Berliner Elektrotechnischen Vereines ist, was die elektrischen Maschinen betrifft, gekennzeichnet durch die Bemühungen um einen brauchbaren Wechselstrommotor.

Mit Rücksicht auf verschiedene Veröffentlichungen, die dem Beitrag Deutschlands zur Entwicklung des Drehstrom-Übertragungssystems nicht gerecht werden, hatte der Wissenschaftliche Ausschuß des Verbandes Deutscher Elektrotechniker einen Unterausschuß eingesetzt, der sich der Geschichte des Drehstroms widmen sollte. Der damalige Vorsitzende der VDE-Kommission für elektrische Maschinen, *F. Hillebrand*, berichtete im Juli 1959 in der Elektrotechnischen Zeitschrift ausführlich über die Ergebnisse dieser Untersuchungen.

Nach seinen Ausführungen war *Nicola Tesla* der erste, der 1882 eine Lösung für die Energieübertragung durch ein Mehrphasen-Wechselstromsystem ohne Stromwender vor Augen hatte und auch das Prinzip für einen Mehrphasen-Induktionsmotor angab. 1885 führte der italienische Physiker *Galileo Ferraris* Versuche mit dem Modell eines zweiphasigen Induktionsmotors durch. Zwei Jahre später meldete *Charles Schenk Bradley* in den USA ein Patent auf eine Zweiphasen-Energieübertragung mit zweiphasigen Synchronmaschinen an. Er hat auch als erster ein Patent auf einen dreiphasigen Induktionsmotor mit einem Kurzschlußkäfig erworben. Im gleichen Jahre 1887 plante der Deutsche *Friedrich August Haselwander* eine Drehstrom-Kraftübertragung mit dreiphasigen Synchrongeneratoren und Synchronmotoren, die er auch 1888 ausführte. Im Herbst dieses

Jahres 1888 begann der Chefelektriker der AEG *Michael von Dolivo-Dobrowolsky* mit dem Bau des ersten Drehstrom-Induktionsmotors mit einem Käfiganker; er hatte eine Leistung von $\frac{1}{10}$ PS.

Induktionsmotoren

Da die Induktionsmotoren zu 80 % bei elektromotorischen Antrieben verwendet werden und die anderen Motoren, wie Gleichstrommotoren, Synchronmotoren und Kommutatormotoren, nur zu 20 % zu diesem Zwecke herangezogen werden, sei es mir erlaubt, den Drehstrom-Induktionsmotor auf seinem Wege von den ersten Ausführungen bis heute ein wenig zu begleiten, und zwar den Drehstrommotor in seiner einfachsten und billigsten Bauart, nämlich den Käfigankermotor. Es ist erstaunlich, wieviel Irrwege beschritten werden mußten und wie viele Hindernisse aus dem Weg geräumt werden mußten, bis dieser Käfigläufermotor wieder zu einfachen Bauformen zurückfand und sich die Verbreitung erobern konnte, die er heute hat.

Die ersten Käfigankermotoren der AEG wurden bis zu Leistungen von 5 PS unmittelbar über einen Hebelschalter angeschlossen. Für die größeren Motoren wurde ein Wasserwiderstand verwendet, der im Verkettungspunkt der Ständerwicklung lag. Die Stern-Dreieck-Schalter und die Anlaß-Transformatoren kannte man damals — im Jahre 1894 — noch nicht.

Der hohe Anlaufstrom der Motoren bewirkte natürlich empfindliche Spannungsschwankungen, da die Maschinenleistung der damaligen Elektrizitätswerte im Vergleich zu heutigen Verhältnissen sehr klein war. Diese Spannungsschwankungen brachten die Käfigankermotoren in Verruf, und die Elektrizitätswerke forderten, daß schon Drehstrommotoren mit 2 PS Leistung als Schleifringanker-Motoren ausgeführt sein sollten. Niemand fand sich, der eine Lanze für den geschmähten Käfigläufermotor brechen wollte. Auch bei der AEG erstand ihm kein Verteidiger. Um das Jahr 1896 ging man dann in Europa allgemein zum Schleifringanker-Motor über.

Trotzdem haben sich aber manche Konstrukteure und Erfinder mit der Verbesserung der Anlaufverhältnisse des Käfigankermotors befaßt. Nach 1900 wurden mehrere Anordnungen von Käfigläufern angegeben, die uns heute ganz sonderbar anmuten.

Es ist nun bemerkenswert, daß man sich nach dem Ende des ersten Weltkrieges zuerst mit der Verbesserung des Leistungsfaktors des Drehstrom-Induktionsmotors beschäftigte. Überhaupt wurde in den Kreisen der Elektrotechniker nach dem Jahre 1920 lebhaft über die Frage des Leistungsfaktors in Drehstromnetzen und die Mittel zu seiner Verbesserung gesprochen. Im Herbst 1921 fand in Berlin sogar eine eigene „cos φ -Tagung“ statt. Es setzten Bestrebungen

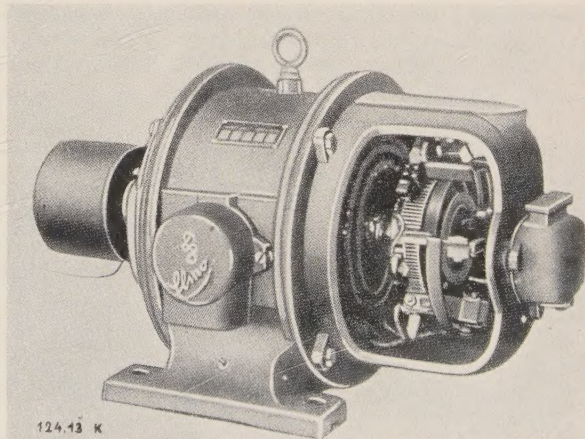


Bild 13. Heyland-Motor der Siemens-Schuckertwerke für 5,5 kW, 220/380 V bei 1500 U/min.

ein, Drehstrom-Induktionsmotoren mit verbessertem Leistungsfaktor bis zu kleinsten Leistungen zu entwickeln, und man griff zu jenen Lösungen, bei denen der Blindstrom im Motor selbst erzeugt wird, das sind die kompensierten Induktionsmotoren (Bild 13). Sie waren keine neuen Entdeckungen, denn schon 20 Jahre früher hatten *Heyland, Blondel* und *Osnos* in den Jahren 1901 und 1902

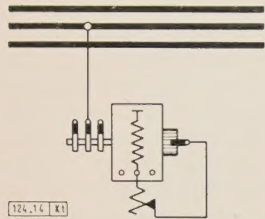


Bild 14. Schaltung des Osnos-Motors.

solche Motoren angegeben und auch zum Teil ausgeführt (Bild 14).

Ein anderer Weg zur Verbesserung des Leistungsfaktors war, daß man die Drehstromwicklung des Läufers nach dem Anlassen mit Gleichstrom speiste und so einen synchronisierten Induktionsmotor (Bild 15) schuf.

Man hatte dem Induktionsmotor mit Rücksicht auf die Verbesserung seines Leistungsfaktors eine seiner besten Eigenschaften genommen, nämlich den einfachen Aufbau.

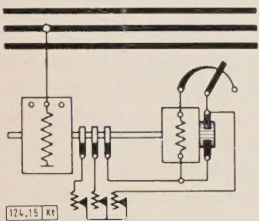


Bild 15. Schaltung eines synchronisierten Induktionsmotors.

Es wurden daher schon während der Zeit, als sich noch Theorie und Praxis mit den kompensierten und synchronisierten Induktionsmotoren beschäftigten, Stimmen laut, die auf den Kurzschlußläufermotor als auf den einfachsten, betriebssichersten und billigsten Motor hinwiesen.

Leider hemmten die Verbreitung der Kurzschlußläufermotoren einerseits die strengen Anschlußbedingungen der Elektrizitätswerke, die im Jahre 1907 erstmalig aufgestellt wurden und fast 25 Jahre in Kraft blieben, und andererseits die ungünstigen Anlaufeigenschaften des Motors. Zweierlei Aufgaben galt es somit zu erfüllen, nämlich die Anlaufverhältnisse der Kurzschlußläufermotoren zu verbessern und den Kampf mit den Elektrizitätswerken um eine großzügigere Zulassung von Motoren mit Käfigläufern aufzunehmen.

Eine Lösung, den Einschaltstrom auf ein zulässiges Maß herabzudrücken, besteht darin, den Motor unter Spannungsverminderung anzulassen, sei es durch Stern-Dreieck-Schal-

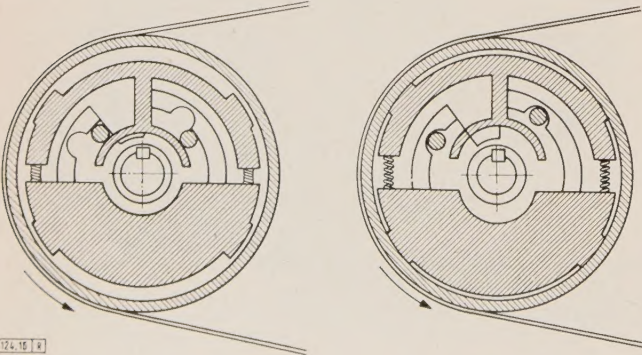


Bild 16. Albo-Kupplung nach Obermoser.

ter oder durch Anlaßtransformatoren. Dabei wird jedoch das Anzugsmoment so klein, daß bestenfalls Leeranlauf möglich ist. Es wurden aus diesem Grunde in der Mitte und gegen Ende der zwanziger Jahre viele Fliehkraft-riemenscheiben entwickelt, die alle einen Leeranlauf des Motors ermöglichen, unabhängig davon, unter welcher Last der Motor in Betrieb gesetzt werden soll. Am bekanntesten wurde die Albo-Kupplung (Bild 16) von *Obermoser*.

Obwohl schon kurz nach der Erfindung des gewöhnlichen Drehstrommotors verschiedene Mittel versucht wurden, um den Anlauf des Käfigankermotors zu verbessern, so setzten doch erst mit der Werbung für den Kurzschlußmotor in den zwanziger Jahren neue Bestrebungen in dieser Richtung ein. Es ist sonderbar, daß, zumindest was die beiden Bauarten betrifft, die schließlich und endlich den Sieg davontrugen, nämlich den Motor mit Wirbelstromläufer und den Mehrfach-Käfiganker-Motor, abermals keine neuen Erfindungen gemacht wurden, sondern auf alte Erfindungsgedanken zurückgegriffen wurde wie bei den kompensierten Induktionsmotoren.

Das erste Patent, das die Verwendung des Wirbelstromprinzips beim Käfiganker beschreibt, stammt aus dem Jahre 1900. Hierbei handelt es sich um einen Motor von *H. M. Hobart* mit eisernen Endringen mit großen Querschnitten. Auch erkannte *Hobart* bereits 1912 die Wirkung von tiefen Nuten. Wir müssen also in diesen Motoren von *Hobart* die Vorläufer für die späteren Hochstahläufer sehen.

Der Doppel- und Mehrfach-Käfiganker-Motor durchlebte eine lange Geschichte, bis er sich durchsetzen konnte. Unzweifelhaft war *M. von Dolivo-Dobrowolsky* der erste, der schon 1893 einen Doppel-Käfigläufer-Motor bei der AEG entworfen hatte, um ein hohes Anzugsmoment bei einem niedrigen Einschaltstrom zu erhalten (Bild 17). Im Jahre 1895 aber gab man den Bau solcher Motoren wieder auf. *Boucherot* erweckte später diesen Motor zu neuem Leben und gab auch Dreifach- und Mehrfach-Käfiganker-Motoren an. Aus diesem Grunde nannte man die Motoren mit zwei und mehr Käfigwicklungen im Läufer auch *Boucherot-Motoren*. Aber auch das Leben, das den Mehrfach-Käfigläufer-Motoren von *Boucherot* eingehaucht wurde, währte nicht lange, und diese Motoren gerieten abermals in Vergessenheit, bis die Heemaf S.K.A.-Motorenwerk A.-G., Dortmund, im Jahre 1921 ihren „Edel-SKA-Motor“ auf den Markt brachte, der ein Doppel-Käfiganker-Motor war. Nun

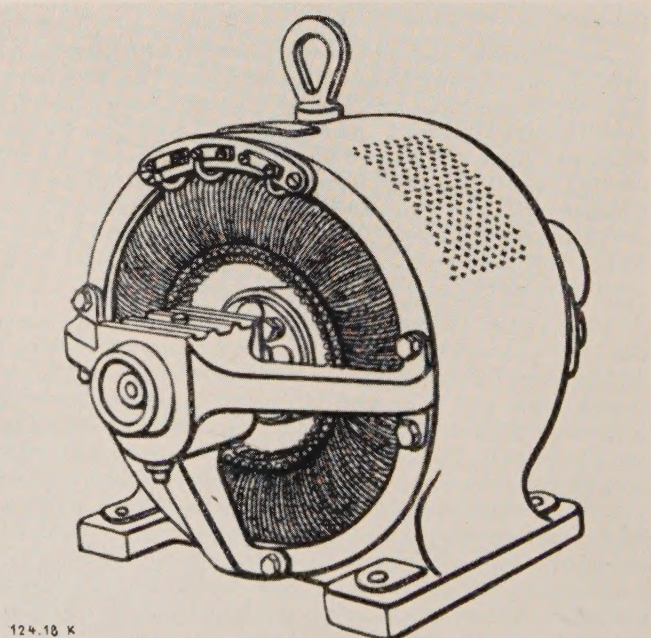


Bild 17. Doppelnutmotor aus dem Jahre 1893 nach von Dolivo-Dobrowolsky.

setzte, insbesondere nach der Leipziger Frühjahrsmesse 1926, ein Für und Wider um den Doppel-Käfiganker-Motor ein. Am 12. April 1924 fand in Berlin sogar eine Sitzung statt, in der es um die Frage ging: „Lohnt es sich, Doppel-Käfig-Motoren zu bauen?“ Die Zeitschriften waren voll von Aufsätzen über diesen Motor. Da es gelang, Doppel-Käfiganker-Motoren so herzustellen, daß ihre Anlaufcharakteristik der eines Schleifringmotors vollkommen gleichwertig war, schien das Ende des Schleifringanker-Motors gekommen. Tatsächlich war auf der letzten Seite einer Werbedruckschrift der Heemaf aus dem Jahre 1928 ein Grabmal abgebildet mit drei Schleifringen und drei Bürsten, darunter standen die Worte: „In memoriam dem Anlaß-Schleifringmotor.“

Diese Motoren mit Stromverdrängungsläufern waren aber nicht das einzige Ergebnis der Arbeiten an der Verbesserung der Anlaufverhältnisse von Kurzschlußläufer-Motoren. Auf der Essener Ausstellung im Jahre 1921 waren mehrere Bauarten von Motoren mit verbessertem Anlauf zu sehen. Und von da ab begegnete man immerfort neuen Lösungen. Als Beispiele seien nur erwähnt der Weißberg-Simplex-Motor der Volta-Elektrizitäts-AG., der Motor der Bayrischen Elektrizitätswerke, Landshut, der Bruncken-Doka-Motor (Bild 18), der Motor von *Armais Arutünoff* der Firma Ziehl-Abegg usw.

Als einer der Wortführer im Streite um den Kurzschlußanker-Motor in seiner einfachsten Bauart als Käfigläufer-

Bei dieser Maschine standen sowohl die Erregerspule als auch die Ankerspulen fest. Ein eisernes, vierarmiges Magnetkreuz lief als Schlußstück um und stellte den Magnetschluß her oder unterbrach ihn.

Ein Jahr später führte *Tesla* einen zweiphasigen Synchrongenerator und einen gleichartigen Synchronmotor vor. Im Oktober 1887 konnte *Haselwander* einen nach seinen Angaben gebauten dreiphasigen Synchrongenerator mit Selbsterregung öffentlich in Betrieb nehmen. Im Oktober

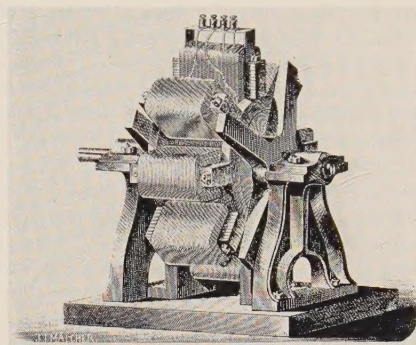


Bild 19. Wechselstromgenerator aus dem Jahre 1883 nach Alexander Klimenko.

des nächsten Jahres meldete *Bradley* einen dreiphasigen Generator und Motor zum Patent an, und 1889 wurde von *v. Dolivo-Dobrowolsky* für die Stern- und Dreieckschaltung der dreiphasig gewickelten Generatoren und Motoren in England ein Patent angemeldet.

Die Internationale Elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt am Main mit der Drehstrom-Energieübertragung von Lauffen nach Frankfurt im Jahre 1891 stellte einen Markstein in der Entwicklung auf dem Gebiete der Drehstromerzeuger dar. Die Maschinenfabrik Oerlikon stellte in der Maschinenanlage in Lauffen einen Drehstromgenerator mit 300 PS auf, während die AEG einen 100-PS-Drehstrommotor zum Antrieb einer Pumpe für einen künstlichen Wasserfall in der Frankfurter Ausstellung lieferte.

Wie immer bei einer neuen Entwicklung, entstanden auch bei den Synchronmaschinen vielerlei Bauformen, bis sich dann eine Bauart endgültig durchsetzte. Und zwar wurden Drehstromgeneratoren in der Gleichpoltype sowohl mit umlaufenden Polstücken als auch mit einem umlaufenden, aus zwei Kränzen bestehenden Polrad gebaut. Die Drehstromerzeuger mit Wechselecken wurden entweder mit einer gemeinsamen Polerregung ausgeführt, also auch als Klauenpoltype, oder mit Einzelpolerregung. Im letzteren Falle ordnete man die Pole entweder außen oder innen an. Z. B. war der Generator der Maschinenfabrik Oerlikon in Lauffen eine Wechseleckenpoltype mit einem Klauenpolrad und einer Ring-Erregerspule. Die ersten Drehstromgeneratoren der AEG wurden nach dem Gleichpolprinzip gebaut (Bild 20). Bei dieser Bauart lagen sowohl die mit Gleichstrom gespeiste ringförmige Erregerspule als auch die Drehstromwicklung in zwei Blechpaketen fest. Zwischen diesen Blechpaketen liefen lamellierte Polhörner am Schwungrad der Antriebsmaschine um und riefen Flußschwankungen in den Ständerwicklungen und damit eine Spannung hervor. Um die Jahrhundertwende ging man allgemein zu der heute üblichen Bauart mit einem umlaufenden Magnetrad mit be-

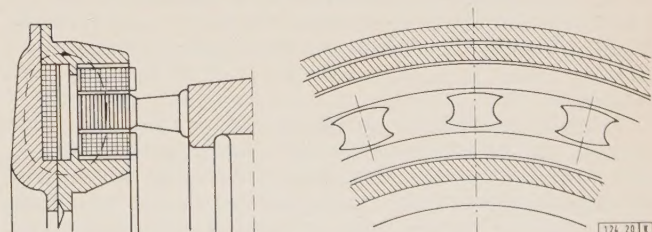


Bild 20. Bauart der ersten AEG-Drehstromgeneratoren.

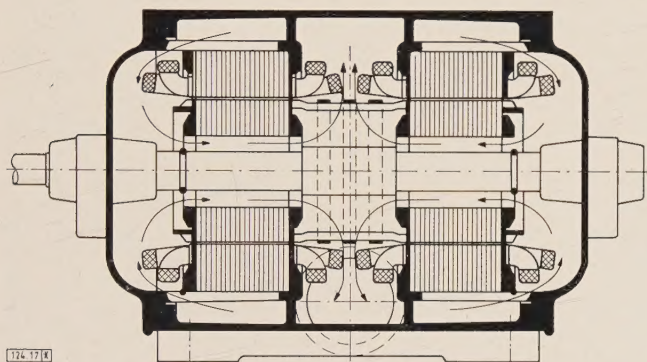


Bild 18. Bruncken-Doka-Motor.

motor ohne oder mit Stromverdrängung und die Lockerung der Anschlußbedingungen für ihn muß der damalige Direktor des Weizer-Werkes der „Elin“, *E. Rosenberg*, der Erfinder der Querfeldmaschine, angesehen werden, der im Jahre 1928 die Anschlußbedingungen mit den Worten geißelte: „Veraltete Anschlußbedingungen, die streng nach den Buchstaben gehandhabt werden, wirken auf Industrie und Wirtschaft so hemmend wie die berühmten Vorschriften des englischen Board of Trade für Automobile, die noch zur Zeit, als auf dem Kontinent Rennwagen und Tourenwagen verkehrten, verlangten, daß auf englischen Straßen einem mit Maschinen bewegten Fahrzeug ein Mann mit roter Flagge im Schritt vorausgehen muß.“ Und einen Aufsatz in der ETZ über die Rettung des Leistungsfaktors durch Kurzschlußläufer-Motoren beendete *Rosenberg* im Jahre 1927 mit den Worten: „Ich zweifle nicht daran, daß der Kurzschlußmotor in Mitteleuropa so wie anderswo seinen Siegeslauf antreten und daß man in kurzem nicht mehr daran denken wird, seine Anwendung auf Motoren von 15 kW oder selbst 100 kW zu beschränken.“

Synchronmaschinen

Auf der Wiener Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung im Jahre 1883 waren auch schon Wechselstromgeneratoren zu sehen. Die Firma Ganz & Co. in Budapest z. B. zeigte eine „Dampfmotormaschine“ von 150 PS, bei der ein Wechselstromgenerator mit eingebauter Erregermaschine unmittelbar mit einer Dampfmaschine gekuppelt war. Ein eigenartiger Wechselstromgenerator (Bild 19) war die ebenfalls ausgestellte Maschine von *Alexander Klimenko*.

wickelten Wechseelpolen in einem feststehenden Ständer über.

Die Entwicklung nach der Jahrhundertwende ist gekennzeichnet durch das Anwachsen der Leistungen der Stromerzeuger. In den neunziger Jahren lagen die Maschinenleistungen bei etwa 1000 kVA. Heute gehören zu den größten Langsamläufern z. B. die für Kanada geplanten Wasserkraftgeneratoren für 190 MVA bei 200 U/min der AG. Brown, Boveri & Cie. oder die Generatoren in Kujbyschew für 200 MVA bei 83,3 U/min. Pläne sind in Ausarbeitung für Wasserkraftmaschinen für 240 MVA und 125 U/min, und für Pumpspeicherwerke sind Maschinen für 100 MVA bei 428 U/min im Entwurf.

Die in Amerika verwendeten Blechkettenläufer fanden um 1940 auch Eingang in Europa. Sie wurden für Generatoren mit senkrechter Welle vorgesehen. Heute führt man sie auch bei Maschinen mit waagerechten Wellen in Pumpspeicherwerken aus.

Bei den Turbogeneratoren hat sich der im Jahre 1901 von Ch. E. L. Brown erfundene Walzenläufer mit Radial- oder Parallelnuten zur Aufnahme der Erregerwicklung eingebürgert.

Nach dem Ende des zweiten Weltkrieges kam es förmlich zu einem Wettlauf in der Steigerung der Leistung von Turbogeneratoren. So laufen bereits Maschinen mit Leistungen von 100 und 200 MVA, und geplant sind Generatoren von 300 MVA, ja 400 MVA. Zwei Turbogeneratoren mit je 350 MW Leistung sind für das Kraftwerk Drakelow bei Burton-on-Trent in Auftrag gegeben worden.

Diese Leistungssteigerung ist zum Teil auf die Fortschritte in der technologischen Herstellung, aber auch zum Teil auf die neuen Erfolge in der Kühlung zurückzuführen. Die von Max Schuler in Deutschland im Jahre 1915 angegebene Wasserstoffkühlung ist zuerst in Amerika angewendet worden. Aber auch der Übergang von der Luftkühlung zur Wasserstoffkühlung genügt für die Turbogeneratoren höchster Leistung nicht mehr, und man schritt zur unmittelbaren Kühlung der Leiter im Läufer und auch im Ständer.

Der spanische Denker José Ortega y Gasset wies in seinen Betrachtungen über die Technik auf die höchst seltsame Tatsache hin, daß die Technik fast immer anonym ist und daß ihre Schöpfer sich nicht des persönlichen Ruhmes erfreuen, der immer andere Genies begleitet hat.

Alljährlich besuchen z. B. Tausende das Tauernkraftwerk Glockner-Kaprun und bewundern zum Teil die Landschaft, zum Teil die technischen Einrichtungen. Keinem Besucher aber wird es einfallen, nach den Erbauern zu fragen. Es werden höchstens die Firmen genannt, die Techniker und Ingenieure aber bleiben anonym. Ja, nicht einmal bei einer feierlichen Eröffnung eines großen Werkes, bei welcher Gelegenheit viele Reden gehalten werden, erfährt der Festteilnehmer die Namen der Konstrukteure; sie bleiben anonym.

Professor Nürnberg beklagt sich in seinem Buche über die Asynchronmaschine, daß wohl die saubere und fehlerfreie Durchrechnung und die richtige Bemessung eines Doppel-Käfigläufer-Motors ein Kunstwerk ist, daß ihm aber meistens die Anerkennung versagt bleibt.

Daher ist der Brauch, bei Jubiläumsfeiern von technischen Vereinen und Körperschaften die geschichtliche Entwicklung des betreffenden Zweiges der Technik zu Worte kommen zu lassen, in mehrfacher Hinsicht wertvoll. Denn es ist gar nicht selten, daß Fachleute nicht einmal auf dem von ihnen bearbeiteten Sondergebiete Bescheid wissen über die Männer, welche die Grundlagen für dieses Fachgebiet geschaffen haben, ja es sogar ablehnen, sich darüber zu unterrichten.

Ortega y Gasset schließt den Absatz, der mit den vorhin angeführten Worten beginnt, mit der Erkenntnis, daß es außerordentlich unwahrscheinlich ist, daß eine Technokratie entstehen könnte. „Der Techniker kann nicht herrschen, nicht in letzter Instanz regieren. Seine Rolle ist prachtwoll, verehrungswürdig, aber unweigerlich zweitrangig.“

Stromwendermaschinen für Wechselstrom und Drehstrom, Einankerumformer und Transformatoren

Es wäre verlockend, auch noch auf die geschichtliche Entwicklung der verschiedenen Stromwendermaschinen für Wechselstrom und Drehstrom, der Einankerumformer und schließlich der Transformatoren einzugehen, doch seien über diese Maschinen nur wenige Worte gesagt.

Stromwendermaschinen für Wechselstrom

Die älteste Stromwendermaschine für Wechselstrom, ja der älteste Wechselstrommotor überhaupt dürfte der Repulsionsmotor sein, der 1883 von der Elihu Thomson gebaut wurde. Max Déri hat diesen einphasigen Repulsionsmotor im Jahre 1904 mit einem doppelten Bürstensatz ausgerüstet. Einen kompensierten Repulsionsmotor schufen in den Jahren 1900 bis 1904 die beiden Österreicher Friedrich Eichberg und Gabriel Winter. Dieser Winter-Eichberg-Motor war vor allem als Fahrzeugmotor gedacht. Die erste Einphasenlokomotive Deutschlands fuhr mit Winter-Eichberg-Motoren zum ersten Male im Jahre 1906 auf der Oranienburger Versuchsbahn, während dieser Motor schon 1904 bei der Stubaitalbahn verwendet wurde.

Bei der Besprechung des Einphasenmotors lehne ich mich an das an, was mein Freund Professor Sachs in seiner Festrede bei der 75-Jahr-Feier des Elektrotechnischen Vereins Österreichs im Mai 1958 über die geradezu dramatische Entwicklung auf dem Gebiete der elektrischen Traktion sagte. Im März des Jahres 1909 hielt Eichberg im Elektrotechnischen Verein in Berlin einen Vortrag über den Winter-Eichberg-Motor, und in der anschließenden Wechselrede trat Lionel Fleischmann ebenfalls für diesen Motor mit 25 Hz ein, während Rudolf Richter, Reichel und Frischmut sich als Vertreter der Siemens-Schuckertwerke für die einfachen Reihenschlußmotoren für 16 Hz einsetzten, mit denen die Lokomotiven der Bahn Murnau—Oberammergau ausgerüstet waren, die seit 1905 im Betrieb standen. Im gleichen Jahre 1905 begann die Maschinenfabrik Oerlikon unter Leitung von Huber-Stockar Versuchsfahrten auf der Strecke Seebach—Wettingen mit Lokomotiven für 15 kV Fahrdrachtspannung und 15 Hz. Die Motoren waren die von Behn-Eschenburg schon 1904 angegebenen Einphasen-Reihenschlußmotoren mit phasenverschobenem Hilfsfeld. Ende 1912 kam es zu dem denkwürdigen Abkommen von Bayern, Preußen und Baden über die Verwendung einer Fahrdrachtspannung von 15 kV und einer Frequenz von $16\frac{2}{3}$ Hz, welchem Entschluß dann auch die Bahnverwaltungen Österreichs, der Schweiz und Schwedens beitraten. Professor Sachs meinte in seinem Vortrage: „Es war wohl eine ebenso aufregende wie schöne Zeit, die auch physisch viel verlangte, denn man mußte womöglich gleichzeitig am Lötschberg wie im Engadin sein.“ Ich muß es mir leider versagen, auf die neuesten Entwicklungen wie den Einphasen-Reihenschlußmotor für 50 Hz, auf die Zweifrequenzmotoren für $16\frac{2}{3}$ und 50 Hz usw. einzugehen.

Stromwendermaschinen für Drehstrom

Die Erfindung des Drehstrom-Reihenschlußmotors und des Drehstrom-Nebenschlußmotors wird dem Deutschen Professor Görges, 1890/1891, zugeschrieben. Nach Patenten und Angaben von Friedrich Eichberg wurden auch die ersten regelbaren ständergespeisten Drehstrom-Nebenschlußmotoren der AEG in der Schaltung ohne Regeltransformatoren mit Regelwicklung im Ständer gebaut. Nach 1935 wurden die ständergespeisten Nebenschlußmotoren bis zu den größten Nennleistungen entwickelt.

Der läufergespeiste Drehstrom-Nebenschlußmotor wurde von Professor Richter 1910 zuerst angegeben und in seinem Verhalten erkannt; Schrage hat ihn in der Industrie eingeführt. Etwa vom Jahre 1925 an konnte dieser Motor auf breiterer Grundlage Eingang finden. Durch eine Hilfswicklung im Anker von ständer-

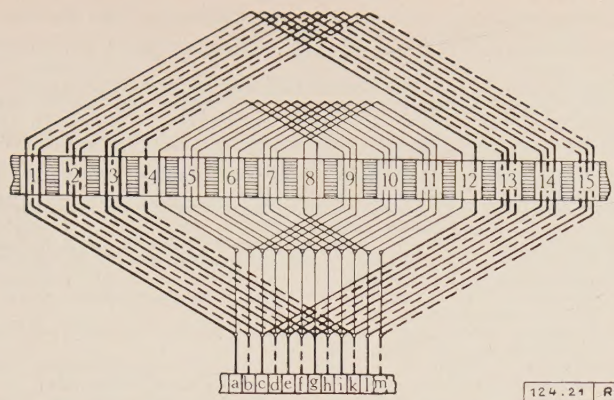


Bild 21. Zweifach-Parallel-Wicklung mit Hilfswicklung für einen läufergespeisten Drehstrom-Nebenschluß-Kommutatormotor.

oder läufergespeisten Drehstrom-Nebenschlußmotoren (Bild 21) konnte die spezifische Leistung erhöht werden.

Der ständergespeiste, kompensierte Induktionsmotor nach Heyland und der läufergespeiste kompensierte Induktionsmotor nach Osnos wurden bereits erwähnt.

Einankerumformer

Auf der elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. im Jahre 1891 war der erste Drehstrom-Gleichstrom-Umformer mit nur einer Ankerwicklung zu sehen. M. von Dolivo-Dobrowolsky baute dann 1899 Einankerumformer mit Leistungen von 550, 1100 und 1250 kW und 24 Polen. Die Leistung je Polpaar war also klein. Nach dem ersten Weltkrieg aber führte man schon Einankerumformer mit Leistungen von 450 kW je Polpaar aus. Diese Maschinen erlebten in den ersten Nachkriegsjahren ihre Blütezeit. Seit-her verlieren sie mehr und mehr an Bedeutung.

Als Nachteil des Einankerumformers wurde empfunden, daß er es nicht erlaubt, die Gleichspannung in weiten Grenzen zu regeln. Professor K. Schenfer in Moskau entwickelte zur Lösung dieser Aufgabe schon vor einigen Jahrzehnten sogenannte ständererregte Drehfeldumformer. R. Meller schlug 1926 einen Einankerumformer ohne Ständerwicklung vor, der aber zur Festlegung der räumlichen Lage des Erregerflusses und zu seiner Änderung einen Synchronmotor braucht, der den Anker antreibt. In der letzten Zeit schuf der Budapester Professor O. Benedikt eine „Autodyne“ genannte Maschine, die keines Antriebsmotors bedarf, sich mit Hilfe einer negativen Rückkopplung selbst synchronisiert und die Gleichspannung durch geringe Leistungs-impulse verändert.

Transformatoren

Bekanntlich sieht man das Jahr 1885 als das Geburtsjahr des Transformators an und als Erfinder die drei ungarischen Ingenieure Bláthy, Déri und Zipernowsky. Schon zwei Jahre später schuf der Deutsche Gisbert Kapp die grundlegenden Arbeiten über die Theorie des Transformators. Im Jahre 1889 gab von Dolivo-Dobrowolsky einen Drehstromtransformator (Bild 22) mit magnetischer Verkettung der Induktionsflüsse der drei Phasen an, und am 4. Oktober 1891 meldete er ein Patent für Mehrphasentransformatoren mit Anordnung der Kerne in einer Ebene an, die oben und unten durch zwei parallele Joche verbunden sind. Nach dem Ablauf des Patentes im Jahre 1906 wurde diese Bauart allgemein ausgeführt. Schon im Jahre 1904 brachte die Firma

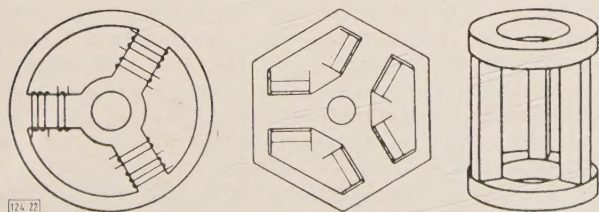


Bild 22. Grundsätzliche Anordnung der Drehstromtransformatoren nach von Dolivo-Dobrowolsky.

E. H. Geist in Köln Transformatoren auf den Markt, die mit legierten Blechen hergestellt waren.

Nach dem Ende des ersten Weltkrieges fallen vor allem folgende Entwicklungsrichtungen ins Auge: Die Transformatoren mit oberwellenfreiem Magnetisierungsstrom, die schwingungsfreie Bauart, die Wandertransformatoren, die Stufenregelung unter Last und der Ausbau der Kühleinrichtungen.

Die Entzerrung des Magnetisierungsstromes, mit der sich 1935 zuerst R. Buch und E. Hueter und ein oder zwei Jahre später J. Biermanns befaßten, hat heute mit Rücksicht auf die Verringerung des Magnetisierungsstromes durch die kornorientierten Bleche nicht mehr die Bedeutung wie noch vor einigen Jahren.

Beeinflusst haben den Transformatorenbau in der letzten Zeit die kaltgewalzten Bleche mit magnetischer Vorzugsrichtung und die Frage der Geräuschbildung.

Der bevorzugte Großtransformator ist heute der Wandertransformator. Während längere Zeit die Grenzen für die Leistung bei 100 MVA und für die Spannung bei 220/110 kV lagen, ist man jetzt bei Drehstromtransformatoren mit einer Leistung von 200 MVA bei einer Oberspannung von 380 kV angelangt.

Abschluß und Ausblick

Damit sind wir am Ende dieses unvollständigen Berichtes über die geschichtliche Entwicklung der elektrischen Maschinen in der Zeit von der Gründung des Elektrotechnischen Vereines in Berlin bis zu unseren Tagen.

Der Elektromaschinenbau ist zweifellos ein ausgereiftes Gebiet der Technik. Doch besagt dies nicht, daß keine weiteren Entwicklungen mehr möglich wären. Ich verweise nur z. B. auf den Aufsatz von J. Tittel über einige Neuentwicklungen im Großmaschinenbau, auf das vom VDE herausgegebene Buch über Sonderbauformen elektrischer Maschinen und auf die vielen Arbeiten, die jahraus, jahrein in den technischen und wissenschaftlichen Fachzeitschriften des In- und Auslandes über elektrische Maschinen veröffentlicht werden. Es ist kaum möglich, diesem Schrifttum zu folgen, und wer auf dem Laufenden bleiben will oder gar Eigenes zum Fortschritt beitragen will, der muß viel Zeit, Arbeitskraft und Fleiß dafür aufbringen und auf vieles verzichten, was verlockend im Leben wäre.

Aber züchtet die dauernde Beschäftigung mit der Welt des Leblosen nicht sozusagen Denkformen und einen Geist, der dieser Welt des Leblosen verwandt ist, fragte Professor Sedlmayr in seinem Vortrage über Gefahr und Hoffnung des technischen Zeitalters beim ersten Österreichischen Tag der Technik in Wien im Oktober 1957. „Man hat das erste Weltalter, das der Jäger, in das Zeichen des Tieres stellen wollen, das zweite, das des Bauern, in das Zeichen der Pflanzen und das dritte, das der technischen Industrie, in das Zeichen der leblosen Natur.“ Es ist nun zweifellos „eine der Gefahren des technischen Zeitalters, daß die am Anorganischen gebildeten Denkweisen und Verfahren unsachgemäß auf andere höhere Bereiche übergreifen und dabei ungeheuren, zum Teil nicht wieder gut zu machenden Schaden stiften“.

Die hauptsächlichste Gefahr des technischen Zeitalters sieht Professor Sedlmayr aber darin, daß der Mensch die von ihm selbst geschaffene technische Welt als unabänderlich und selbständig wie eine zweite Natur anerkenne, unter Opferung alles dessen im Menschen, was zur Welt der Technik nicht paßt, und zwar je rascher, desto besser. „Nicht in der Natur müsse der Mensch sich beheimaten, sondern in der Menschenkunst, in der Technik. Das wahre Wesen des Menschen liege in der Technik.“

Und nach Professor Haseloff stellt die Stadt als „künstliche Landschaft“ eine maximale Umgestaltung der vorgefundenen natürlichen Umstände im Sinne der menschlichen Bedürfnisse und Lebensansprüche dar. Anthropologisch gesehen ist die Stadt damit die künstlichste und zugleich menschlichste Umwelt des Menschen, jenes von der Natur gewissermaßen ausgesetzten Wesens.“

Millionen großstädtischer Menschen treten die ganze Woche lang mit keinem Fuß mehr auf wirkliche Erde, sondern auf lauter Asphalt, Linoleum, Kunststein und Hartglas. Millionen von Technikern und Arbeitern haben ihr Leben lang nur mit anorganischen Gebilden zu tun, begegnen keiner Kreatur mehr, sondern nur den Schöpfungen der technisch-anorganischen Vernunft. Alle diese Menschen haben kein natürliches Verhältnis zur Natur mehr. Und Ortega y Gasset behauptet, daß die Technik, obwohl sie voller Möglichkeiten ist, nur leere Form ist und unfähig, den Inhalt des Lebens zu bestimmen. Daher gehören nach ihm die Jahre, in denen wir leben — die technischsten, die es in der Geschichte der Menschheit gegeben hat —, zu den leersten.

Aber noch dehnen weit sich die Wälder. „Und abseits der Hochalpenstraßen, der Stauwerke, der Bergbahnen und Lifte umgibt uns noch im Hochgebirge der Zauber einer unberührten Landschaft, in der Tier, Pflanze und Gestein eine natürliche Lebensgemeinschaft bilden und jener heilige Friede herrscht, nach dem sich unser Herz sehnt.“ Noch aber können wir nach einem heißen Sommertage am Ufer eines Bergsees sitzen und das Abendwerden erleben; wenn die Sonne nur noch an den höchsten Bergspitzen hängt, ein müde werdender Wind mit den Baumblättern spielt und die Wellen leise am Ufer gluckern. Noch können wir uns so in die Dämmerung verträumen.

Noch aber können wir in einem Konzertsaal sitzen und atemlos einer Symphonie von *Beethoven*, *Brahms*, *Bruckner*, *Mozart* oder *Schubert* folgen. Denn „noch ist uns das Dasein verzaubert; an hundert Stellen ist es noch Ursprung. Ein Spielen von reinen Kräften, die keiner berührt, der nicht kniet und bewundert“.

Schrifttum

- [1] Caspari, E., u. Wiedemann, E.: Die Entwicklung der Wasserkraftgeneratoren im Zusammenhang mit der Gestaltung der Kraftwerke. Elektrotechn. u. Masch.-Bau Bd. 60 (1942) S. 33–41.
- [2] Dettmar, G.: Die Entwicklung der Starkstromtechnik in Deutschland. VDE-Verlag Berlin-Charlottenburg. 1940.
- [3] Dünner, E.: Die Entwicklung der elektrischen Maschinen. Bull. Schweiz. elektrotechn. Ver. Bd. 48 (1957) S. 501–506.

- [4] Heintzenberg, Fr.: Vorgeschichte und Kinderjahre der Dynamomaschine. Siemens-Z. Bd. 22 (1942) S. 3–11.
- [5] Hillebrand, F.: Zur Geschichte des Drehstroms. ETZ-A Bd. 80 (1959) S. 409–421 u. 453–461.
- [6] Hillebrand, F.: Aus der Entwicklung des Elektromaschinenbaues in den letzten 50 Jahren. Elektrotechn. u. Masch.-Bau Bd. 60 (1942) S. 29–33.
- [7] Hundt, A.: Der Anteil der AEG an der Entwicklung des Drehstrom-Transformators. AEG-Mitt. (1941) S. 160–173.
- [8] Jaekel, W.: Aus der Frühzeit der Dynamomaschine. Elektrotechn. u. Masch.-Bau Bd. 60 (1942) S. 21–28.
- [9] Lämmerhirt, E.: Die Entwicklung der Einankerumformer. Elektrotechn. u. Masch.-Bau Bd. 60 (1942) S. 42–47.
- [10] Leukert, W.: 75 Jahre Dynamomaschine. ETZ Bd. 63 (1942) S. 7–16.
- [11] Lindner, Th.: Die Drehstrom-Kraftübertragung Lauffen—Frankfurt a.M. AEG-Mitt. (1941) S. 121–127.
- [12] Monath, L.: Die Entwicklung der Gleichstrom-Quersfeldmaschine. ETZ Bd. 63 (1942) S. 23–30.
- [13] Ortega y Gasset, José: Betrachtungen über die Technik. Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart, 1949.
- [14] Punga, F., u. Raydt, O.: Drehstrommotoren mit Doppelkäfiganker und verwandte Konstruktionen. Verlag Julius Springer Berlin 1931.
- [15] Putz, W.: Entwicklung und heutiger Stand im Bau synchroner Drehstrommaschinen bei der AEG. AEG-Mitt. (1941) S. 127–136.
- [16] Sachs, K.: Erinnerungen aus fünf Jahrzehnten Elektrotechnik. Elektrotechn. u. Masch.-Bau Bd. 75 (1958) S. 660–666.
- [17] Schenkel, M.: 75 Jahre Wechselstrommaschine im Hause Siemens. Siemens-Z. Bd. 22 (1942) S. 29–42.
- [18] Schüler, L.: Die Geschichte des Transformators. ETZ Bd. 38 (1917) S. 185–188, 201–203, 213–216, 231–234.
- [19] Schmitt, W., u. Jordan, H.: Fortschritte im Bau von Asynchronmotoren. AEG-Mitt. (1941) S. 137–149.
- [20] Sedlmayr, H.: Gefahr und Hoffnung des technischen Zeitalters. Elektrotechn. u. Masch.-Bau Bd. 75 (1958) S. 1–7.
- [21] Sequenz, H.: Die Bedeutung des dynamoelektrischen Prinzips für die Entwicklung der Starkstromtechnik. VDI-Z. Bd. 86 (1942) S. 39–43.
- [22] Sequenz, H.: Die Entwicklung der elektrischen Maschinen seit dem ersten Weltkriege. Elin-Z. Bd. 2 (1950) S. 45–62, 103–115 u. 149–156.
- [23] Sequenz, H.: Der Anteil der Elin an der Entwicklung des Kurzschlußläufermotors. Elin-Z. Bd. 3 (1951) S. 17–27.
- [24] Sequenz, H.: Die schöpferische Eingebung in Wissenschaft und Technik. Elektrotechn. u. Masch.-Bau Bd. 69 (1952) S. 217–219.
- [25] Sequenz, H.: Mehrstrangwicklungen. Vortrag beim Nicola Tesla-Kongreß für Wechsel- und Drehstromtechnik 6. bis 13. September 1953 in Wien. In: Blätter für Technikgeschichte. Sonderheft. S. 63–70. Springer-Verlag Wien 1953.
- [26] Sequenz, H.: Der Anteil Österreichs an der Entwicklung der elektrischen Maschinen. Elektrotechn. u. Masch.-Bau Bd. 75 (1958) S. 219–231.
- [27] Trettin, C.: 75 Jahre Gleichstrommaschinen. Siemens-Z. Bd. 22 (1942) S. 11–29.
- [28] Wiedemann, E.: Die Entwicklung des Turbogeneratorbaues. ETZ Bd. 63 (1942) S. 17–22.
- [29] VDE-Buchreihe. Bd. 1: Sonderbauformen elektrischer Maschinen. VDE-Verlag Berlin 1958.
- [30] VDE-Fachtagung Transformatoren. ETZ-A Bd. 81 (1960) H. 2 und 3

Zur Kurzschlußfestigkeit von Freileitungsseilen in ländlichen Mittelspannungsnetzen

Von Joachim Tuercke, Hannover*)

DK 621.315.145.019.3

Bei der Auswahl von Freileitungsquerschnitten muß die am Einbauort herrschende Kurzschlußleistung berücksichtigt werden, damit eine Verminderung der mechanischen Festigkeit des Leiterwerkstoffes durch die thermische Wirkung des Kurzschlußstromes verhindert wird. Hierüber soll nachstehend berichtet werden.

Verhältnisse bei einmaligem Kurzschluß

Freileitungsseile sind — abgesehen von den sonstigen Bemessungsgrundlagen wie Dauerlast, Spannungsabfall, Wirtschaftlichkeit — so zu bemessen, daß eine Verminderung der mechanischen Festigkeit durch übermäßige Temperaturerhöhung im Kurzschlußfall [1] nicht eintritt. Die thermische Kurzschlußfestigkeit der Freileitungen unterscheidet sich in der Größenordnung nicht wesentlich von derjenigen der Kabel. Für Freileitungen aus Aluminium ist sie sogar geringer als für Aluminiumkabel, wenn man für die Mittelspannungskabel eine zulässige Endtemperatur von 170 °C annimmt [2]. Die Verminderung der mechanischen Festigkeit der Freileitungsseile kann aber zu Unfällen führen, während eine übermäßige Temperaturerhöhung der Kabel mehr ein wirtschaftliches Problem darstellt. Im Normblatt DIN 48 215 „Klemmen und Verbinder“ ist bei Kurz-

schluß die zulässige Endtemperatur ϑ_e der Leiterwerkstoffe mit

- 170 °C für Freileitungen aus Kupfer,
- 130 °C für Freileitungen aus Aluminium,
- 160 °C für Freileitungen aus Aldrey und
- 160 °C für Freileitungen aus Stahl-Aluminium

angegeben. Nach den Kurven, die Kirchhoff [3] für Kupfer und Aluminium gezeichnet hat und die offenbar auch in den Entwurf 1 von VDE 0103/... 59 „Leitsätze für die Bemessung der mechanischen und thermischen Kurzschlußfestigkeit von Starkstromanlagen“ übernommen worden sind, läßt sich bei bekannter Anfangs- und Endtemperatur die im Kurzschlußfall während der Zeit von 1 s zulässige gleichbleibende Stromdichte ablesen. Für Seile aus Stahl-Aluminium sollte man entgegen diesem VDE-Entwurf nicht die gleichen Kurven wie für Aluminium verwenden, sondern der zusätzlichen Wärmekapazität des Stahles Rechnung tragen. Bild 1 zeigt diese Kurvenschar für Seile aus Stahl-Aluminium mit einem Werkstoffverhältnis

*) Dr.-Ing. J. Tuercke ist Mitarbeiter der Hannover-Braunschweigische Stromversorgungs-AG, Hannover.

St/Al = 1 : 6. Im Gegensatz zu den von Kirchhoff gezeichneten Kurven wurde hier ein linearer Ordinatenmaßstab verwendet¹⁾.

Damit man mit Hilfe dieser Kurven die im Kurzschlußfall zulässige Stromdichte ermitteln kann, muß noch die Anfangstemperatur ϑ_a bekannt sein. In ländlichen Mittelspannungsnetzen werden die Freileitungsquerschnitte häufig nach dem auftretenden Spannungsabfall oder z. B. bei Stichleitungen nach der mechanischen Festigkeit ausgewählt, wobei die Belastung erheblich unter der zulässigen Dauerstrombelastbarkeit nach dem Normblatt DIN 48 215 bleibt.

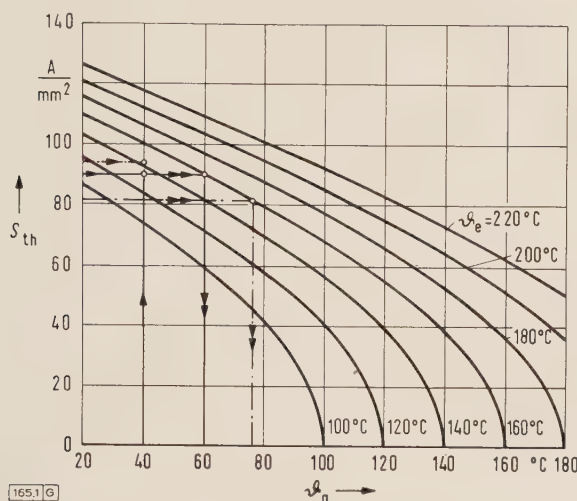


Bild 1. Während 1 s zulässige thermische Stromdichte S_{th} für Seile aus Stahl-Aluminium mit einem Querschnittsverhältnis Al/St 6 : 1, abhängig von der Anfangstemperatur ϑ_a für verschiedene Endtemperaturen ϑ_e .

Es erscheint daher für diese Netze zulässig, statt der für die Ermittlung der Dauerstrombelastbarkeit im Normblatt DIN 48 215 angenommenen Übertemperatur von 40 grd nur mit 20 grd Übertemperatur zu rechnen. Nimmt man weiter die Lufttemperatur mit 20 °C an, so erhält man als Anfangstemperatur ϑ_a einen Wert von 40 °C; sie stimmt mit der höchsten in den Durchgangskurven üblicherweise berücksichtigten Temperatur überein. Für einen Kurzschlußstrom, der während der Zeit 1 s einen gleichbleibenden Effektivwert hat, kann man nun für $\vartheta_a = 40$ °C und $\vartheta_e = 160$ °C aus Bild 1 die zulässige Stromdichte für eine Zeit von 1 s — im weiteren mit 1-s-Stromdichte bezeichnet — $S_{th} = 100$ A/mm² bei Freileitungen aus Stahl-Aluminium ablesen. Mit den von Kirchhoff verwendeten Werten erhält man entsprechend $S_{th} = 140$ A/mm² bei Freileitungen aus Kupfer für die Endtemperatur $\vartheta_e = 170$ °C und $S_{th} = 79$ A/mm² bei Freileitungen aus Aluminium für die Endtemperatur $\vartheta_e = 130$ °C.

Für die Ermittlung des zulässigen Kurzschlußstromes sind diese Werte mit dem Sollwert des Leitungsquerschnittes zu multiplizieren, wobei für Seile aus Stahl-Aluminium nur der Sollquerschnitt des Aluminiums einzusetzen ist.

In Wirklichkeit wird der Kurzschlußstrom jedoch nicht gerade 1 s lang wirken, und sein Effektivwert wird sich infolge der Zeitabhängigkeit der Gleich- und Wechselstromanteile während dieser Einwirkungsdauer zeitlich verändern. Bei von der Sollzeit $t_0 = 1$ s abweichender Kurz-

schlußdauer läßt sich die zulässige Stromdichte S_{th} aus der Formel

$$S_{th t} = \frac{S_{th}}{\sqrt{t/t_0}} \quad (1)$$

ermitteln, wenn t die Dauer des Kurzschlusses ist. Die Kurzschlußzeit t setzt sich aus der Relaiskommandozeit t_r und der Ausschaltzeit t_a bis zur Löschung des Lichtbogens im Schalter zusammen. Für moderne Schalter wird man diese Zeit mit $t_a = 0,1$ s ansetzen können. Die kürzeste Relaiskommandozeit kann für moderne, in Mittelspannungsnetzen übliche Relais ebenfalls mit etwa 0,1 s angenommen werden. Damit ergibt sich als kürzeste Gesamtzeit

$$t = t_r + t_a \quad (2)$$

eine Kurzschlußdauer von $t = 0,2$ s.

Ein einfaches Verfahren, um die zeitliche Veränderung des Kurzschlußstromes während der Kurzschlußdauer zu berücksichtigen, hat Roeper [4] angegeben; es wird auch in dem oben erwähnten Entwurf von VDE 0103/...53 verwendet. Roeper ermittelt die thermisch wirksame mittlere Stromstärke I_k für die thermische Beanspruchung aus dem Stoßkurzschluß-Wechselstrom I_{sw} nach der Formel

$$I_k = I_{sw} \cdot \sqrt{m + n} \quad (3)$$

wobei der Faktor m den Einfluß des Gleichstromgliedes, der Faktor n den Einfluß des Wechselstromgliedes berücksichtigt. Vor allem für kleine Kurzschlußdauer erhält man nach diesem Verfahren genauere Ergebnisse als nach dem klassischen Verfahren [5].

Die Abhängigkeit der Faktoren m und n von der Kurzschlußdauer wird von Roeper in Form von Kurvenscharen angegeben, wobei als Parameter für m der Wert κ verwendet wird, der vom Verhältnis des ohmschen Widerstandes R zum induktiven Widerstand X der Kurzschlußbahn abhängt [6]. Als Parameter der Kurvenscharen für n dient das Verhältnis des Stoßkurzschluß-Wechselstromes I_{sw} zum Dauerkurzschlußstrom I_d , also der Ausdruck I_{sw}/I_d .

Für die Verhältnisse in ländlichen Mittelspannungsnetzen sind beim Anwenden dieser Formel gewisse Vereinfachungen möglich, wenn es sich um Kurzschlüsse handelt, bei denen der Generator so weit entfernt ist, daß der Einfluß seines Stoßkurzschlußstromes unbedeutend wird, wie dies in solchen Netzen häufig der Fall ist. Dann kann ohne großen Fehler das Verhältnis $I_{sw}/I_d = 1$ gesetzt werden, wozu nach den Kurven von Roeper der Wert $n = 1,0$ gehört. Ist diese Voraussetzung nicht genau erfüllt, so wird $n < 1$; man liegt also bei der Ermittlung der wirksamen mittleren Stromstärke I_k auf der Seite mit der größeren Sicherheit. Andererseits kann man annehmen, daß in den betrachteten Netzen das Verhältnis des ohmschen Widerstandes R zum induktiven Widerstand X der Kurzschlußbahn den Wert $R/X = 0,1$ nicht unterschreitet und daß somit der Wert $\kappa \leq 1,6$ ist [6].

Aus den Kurvenscharen von Roeper erhält man dann für eine Kurzschlußdauer von 0,2 s den Faktor m zu

$$m = 0,1$$

und es wird

$$I_k = I_{sw} \sqrt{0,1 + 1,0} = 1,05 I_{sw} \quad (4)$$

Für eine Kurzschlußdauer $t = t_r + t_a \geq 0,5$ s kann man für den betrachteten häufigen Sonderfall des weit ab vom Generator stattfindenden Kurzschlusses in ländlichen Mittelspannungsnetzen mit genügender Genauigkeit mit $m = 0$, also

$$I_k = 1,00 I_{sw} \quad (5)$$

rechnen.

Den erforderlichen Sollquerschnitt q_s der Freileitung erhält man nun aus den angenäherten Beziehungen

$$q_s = \frac{1,05 I_{sw}}{S_{th}} \sqrt{(t_r + 0,1 \text{ s})/t_0} \quad \text{für den Bereich um } t_r = 0,1 \text{ s} \quad (6)$$

1) Die Kurvenschar ist (mit den Bezeichnungen nach Kirchhoff) mit einem Werkstoffwert

$$\tau = c \vartheta_0 / \vartheta_0 = 3,11 \frac{\text{Ws}}{\text{cm}^3 \text{grd}} \cdot \frac{235 \text{ °C m}}{0,0265 \Omega \text{ mm}^2} = 27 600 \text{ A}^2 \text{ s mm}^{-4}$$

berechnet, entsprechend mittleren Werten für die spezifische Wärme

$$c_{Al} = 0,216 \text{ cal g}^{-1} \text{ grd}^{-1} = 2,44 \text{ W s cm}^{-3} \text{ grd}^{-1}$$

$$c_{St} = 0,12 \text{ cal g}^{-1} \text{ grd}^{-1} = 3,96 \text{ W s cm}^{-3} \text{ grd}^{-1}$$

einem mittleren Werkstoffverhältnis des Leiterseils Al/St = 5,91 und dem in VDE 0202/VII.43 und Normblatt DIN 48 200, Bl. 1 für Freileitungen genannten spezifischen Widerstand

$$\varrho_{20} = 1/34,8 \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1} = 0,02 874 \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$$

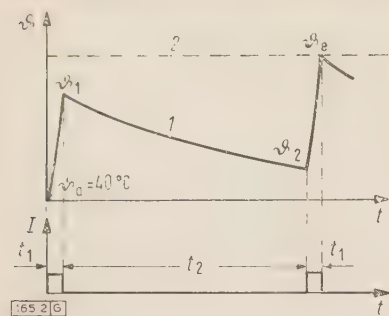


Bild 2. Grundsätzlicher Verlauf der Temperatur eines Anlageteiles bei Wiedereinschaltung nach 2 bis 3 min.

- 1 $\theta = f(t)$ 2 $\theta_e = f(t)$
 t_1 Kurzschlußzeit t_1 , 0,1 s
 t_2 Schaltpause 2 bis 3 min

und $q_s = \frac{1,00 I_{sw}}{S_{th}} \sqrt{(t_r + 0,1 s)/t_0}$ für den Bereich $t_r \geq 0,4 s$, (7)

wobei I_{sw} der Stoßkurzschluß-Wechselstrom, S_{th} der anfangs genannte Wert der 1-s-Stromdichte und $t_0 = 1 s$ ist.

Wiederzuschalten auf den Kurzschluß

In Freileitungsnetzen und Netzen, in denen Kabelstrecken mit Freileitungsstrecken gemischt sind, ist es allgemein üblich, nach Auslösen eines Schalters durch einen Kurzschluß den Schalter nach einer Zeit von 3 min, die neuerdings teils auf 2 min verkürzt wird, probeweise wieder einzuschalten. Dabei besteht die Möglichkeit, daß der Kurzschluß noch besteht und die vom Kurzschlußstrom durchflossenen Anlagenteile nach dieser Schaltpause von 2 bis 3 min nochmals mit dem vollen Kurzschlußstrom beansprucht werden. Hat sich der Anlagenteil, dessen Kurzschlußfestigkeit untersucht werden soll, in dieser stromlosen Zwischenzeit von der durch den Kurzschluß verursachten zulässigen Endtemperatur θ_e auf die angenommene Ausgangstemperatur von 40 °C oder darunter abgekühlt, so braucht die Wiedereinschaltung auf den etwa noch bestehenden Kurzschluß bei der Ermittlung der zulässigen Stromdichte nicht besonders berücksichtigt zu werden. Anders liegt jedoch der Fall, wenn die Teile in der Schaltpause nicht so weit abgekühlt sind, daß für den etwaigen erneuten Kurzschluß mit einer erhöhten Anfangstemperatur gerechnet werden muß. Man erhält dann die grundsätzlichen Verhältnisse, wie sie in Bild 2 dargestellt sind. Die zulässige Stromdichte ist in diesem Falle herabzusetzen. Beim ersten Kurzschluß steigt die Temperatur nur von $\theta_a = 40$ °C auf θ_1 , d. h. auf einen Wert, der unter der zulässigen Endtemperatur θ_e liegt. In der Schaltpause kühlt sich der Anlagenteil bis auf eine Temperatur θ_2 ab und erreicht dann bei der Wiedereinschaltung des Kurzschlusses die zulässige Endtemperatur θ_e .

Man kann diese Verhältnisse näher untersuchen, wenn die Abkühlungskurven für Freileitungsseile bekannt sind. Es wurden daher bei der Hannover-Braunschweigischen Stromversorgungs-Aktiengesellschaft, Hannover, Abkühlungsversuche an verschiedenen für ländliche Mittelspannungs-Freileitungen verwendeten Seilquerschnitten durchgeführt, und zwar in einem Innenraum, um den Einfluß der zusätzlichen Abkühlung durch Wind auszuschneiden und damit den ungünstigsten Fall zu erfassen. Bild 3, in dem die Grenzkurven für den üblichen Querschnittsbereich eingetragen sind, zeigt das Ergebnis dieser Abkühlungsversuche. Diese Kurven gelten für neue Seile. Bei alten Seilen geht die Abkühlung schneller vor sich, so daß man bei alten Seilen beinahe noch den nächsthöheren Leiterquerschnitt durch die gezeichneten Abkühlungskurven erfaßt. Wenn bei diesen Versuchen auch nicht alle Einflußgrößen im einzelnen untersucht worden sind, dürften sie doch für die weiteren Betrachtungen ausreichen. Aus den Kurven des Bildes 1 und den Abkühlungskurven nach Bild 3 kann man nun die Abkühlungszeit graphisch ermitteln, wie dies in den genannten Bildern für das Beispiel eines Stahl-Aluminium-

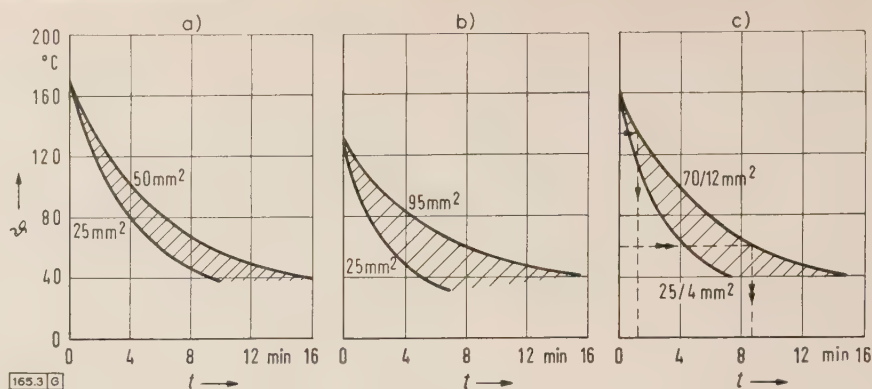


Bild 3. Gemessene Abkühlungskurven von neuen Freileitungsseilen bei 20 °C Raumtemperatur und Windstille für

- a) Kupfer, b) Aluminium, c) Stahl-Aluminium.

Seiles mit 70 mm² Nennquerschnitt geschehen ist. Mit einer angenommenen Stromdichte $S_{th} = 90 A/mm^2$ wird in Bild 1 die Endtemperatur $\theta_1 = 134$ °C für eine Ausgangstemperatur von 40 °C ermittelt (ausgezogene Linien mit einem Pfeil). Ausgehend von der angenommenen Stromdichte $S_{th} = 90 A/mm^2$ und der zulässigen Endtemperatur $\theta_e = 160$ °C erhält man aus Bild 1 weiter die zulässige Ausgangstemperatur $\theta_2 = 60$ °C des zweiten Erwärmungsvorganges (ausgezogene Linien mit 2 Pfeilen). Aus Bild 3 ergibt sich, daß für eine Abkühlung von 134 °C auf 60 °C bei einem Stahl-Aluminium-Seil mit einem Querschnitt Al/St 70/12 mm² der Strom 8,8 min – 1,2 min = 7,6 min lang unterbrochen sein muß, ehe wieder neu zugeschaltet werden darf. Man erhält auf diesem Wege die als Bild 4 wiedergegebenen Kurven für die zulässige 1-s-Stromdichte beim Wiederzuschalten auf Kurzschluß, abhängig von der Dauer der Schaltpause. Aus diesem Bild sind als zulässige 1-s-Stromdichte für den betrachteten Querschnittsbereich die Grenzwerte nach Tafel 1 zu entnehmen.

Bei den kleineren Querschnitten macht sich also die Abkühlung in der Schaltpause schon erheblich bemerkbar. Mit diesen Zahlen kann man mit den Gl. (6) und (7) den erforderlichen Leitungsquerschnitt oder den zulässigen Stoßkurzschluß-Wechselstrom bei der üblichen Probeschaltung nach 2 bis 3 min für Kurzschlüsse errechnen, die weit von den Generatoren entfernt sind.

Berücksichtigung der Kurzunterbrechung

Gerade in Freileitungsnetzen führt sich die Kurzunterbrechung mehr und mehr ein. Hierbei wird die Dauer des ersten Kurzschlusses im allgemeinen auf etwa 0,1 s Kommandozeit für das Relais zuzüglich 0,1 s Ausschaltzeit, also auf 0,2 s begrenzt. Nach einer stromlosen Pause von Bruchteilen einer Sekunde folgt bei einer erfolglosen Kurz-

Tafel 1. Zulässige Stromdichte beim Wiedereinschalten nach 2 bis 3 min.

Freileitungen aus	1-s-Stromdichte S_{th} in A/mm^2 beim Wiedereinschalten auf Kurzschluß		
	nach 3 min Schaltpause	nach 2 min Schaltpause	ohne Abkühlung ¹⁾
Kupfer 25 mm²	117	111,5	99
Kupfer 50 mm²	110	106,5	
Aluminium 25 mm²	72	67	56
Aluminium 95 mm²	62,5	60	
Stahl-Aluminium Al/St 25/4 mm²	86,5	82	71
Stahl-Aluminium Al/St 70/12 mm²	79	76,5	

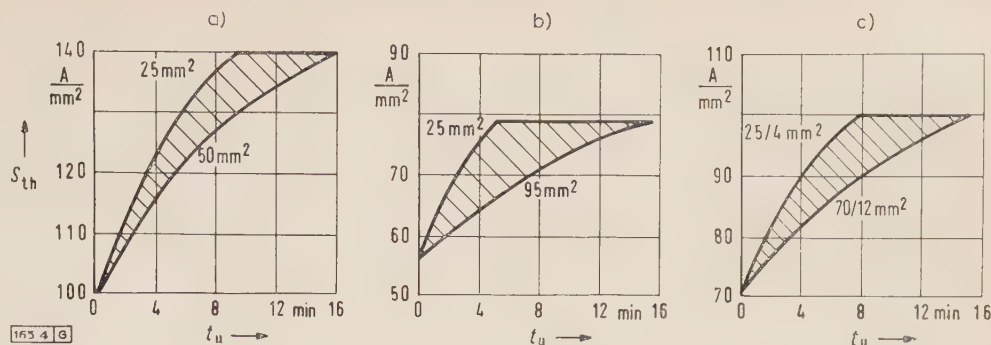
¹⁾ Diese Werte ergeben sich aus der Überlegung, daß bei Fortfall der Abkühlung die für einmaligen Kurzschluß geltenden Werte der 1-s-Stromdichte wegen der verdoppelten Kurzschlußdauer auf

$$S_{th l} = S_{th} / 2$$

zu verringern sind.

Bild 4. Zulässige 1-s-Stromdichte S_{th} abhängig von der Unterbrechungszeit t_u für Freileitungsseile mit Wiederschaltung auf Kurzschluß ohne Kurzunterbrechung.

- a) für Kupferseile mit 25 bis 50 mm² Querschnitt,
b) für Aluminiumseile mit 25 bis 95 mm² Querschnitt,
c) für Stahl-Aluminium-Seile mit Al/St 25/4 bis 70/12 mm² Querschnitt.



unterbrechung ein neues Aufschalten auf den Kurzschluß, dessen Dauer mit $(t_r + 0,1 \text{ s})$ angenommen werden kann, wobei t_r wiederum die eingestellte Kommandozeit des Relais ist. Die Abkühlung des Seiles in der kurzen Pause ist vernachlässigbar. Die zulässige Stromdichte des Seiles S_z bei Kurzunterbrechung ohne Wiederschaltung nach 2 bis 3 min ist daher gegeben durch den Ausdruck

$$S_z = S_{th} / \sqrt{[0,2 \text{ s} + (t_r + 0,1 \text{ s})] / t_0} = S_{th} / \sqrt{[t_r + 0,3 \text{ s}] / t_0} \quad (8)$$

Im allgemeinen dürfte bei erfolgloser Kurzunterbrechung nach 2 bis 3 min nochmals ein Schaltversuch durchgeführt werden, wobei sich dadurch eine neue thermische Beanspruchung der Anlagenteile durch den noch bestehenden Kurzschluß ergeben kann. Hierbei wird die Kurzunterbrechung durch das zugehörige Relais außer Betrieb gesetzt, so daß für diesen etwaigen erneuten Kurzschluß nur eine einmalige Kurzschlußdauer von $(t_r + 0,1 \text{ s})$ in Betracht

Stromdichte S_z die gleiche Temperaturerhöhung wie eine 1-s-Stromdichte der Größe

$$S_{th} = S_z \cdot \sqrt{(t_r + 0,3 \text{ s}) / t_0},$$

bei der Wiederschaltung ohne Kurzunterbrechung wirkt S_z wegen der geringeren Kurzschlußdauer aber nur wie eine 1-s-Stromdichte der Größe

$$S'_{th} = S_z \cdot \sqrt{(t_r + 0,1 \text{ s}) / t_0}.$$

Für eine eingestellte Relaiskommandozeit $t_r = 0,5 \text{ s}$ und ein Seil aus Stahl-Aluminium mit dem Querschnitt Al/St 25/4 mm² ergibt sich z. B. bei einer angenommenen zu-

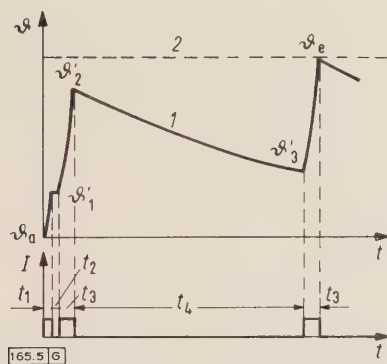


Bild 5. Temperaturverlauf, abhängig von der Zeit bei Kurzunterbrechung mit Probeschalten nach 2 bis 3 min.

$$\begin{array}{ll} 1 & \vartheta = i(t) \\ 2 & \vartheta_e = i(t) \\ t_1 & = 0,2 \text{ s} \\ t_2 & = \text{Kurzunterbrechung} \\ t_3 & = t_r + 0,1 \text{ s} \\ t_4 & = 2 \text{ bis } 3 \text{ min Schaltpause} \end{array}$$

kommt. Der Temperaturverlauf bei diesem Schaltversuch ist in Bild 5 wiedergegeben.

Wird bereits nach der erfolglosen Kurzunterbrechung die zulässige Endtemperatur ϑ_e erreicht, und kühlt sich das Freileitungsseil in der Schaltpause bis auf den Wert $\vartheta'_3 = \vartheta'_1$ ab, d. h. auf die Temperatur, die das Freileitungsseil bis zur stromlosen Pause der Kurzunterbrechung angenommen hatte, so braucht die Probeschaltung bei Ermittlung der zulässigen Stromdichte nicht besonders berücksichtigt zu werden. Die zulässige Endtemperatur wird dann auch beim nochmaligen Wiederschalten nach 2 bis 3 min nur gerade erreicht. Genügt dagegen die betriebsmäßige Schaltpause nicht, damit sich das Seil von ϑ'_3 auf ϑ'_1 abkühlt, so muß — wie bei der probeweisen Wiederschaltung auf Kurzschluß nach einer einfachen Kurzschlußauslösung — die Stromdichte herabgesetzt werden, wenn nach 2 bis 3 min nochmals zugeschaltet werden soll.

Für die Ermittlung der zulässigen Stromdichte S_z aus Bild 1 gilt die folgende Überlegung. Während der ersten Einschaltung mit Kurzunterbrechung bewirkt die auftretende

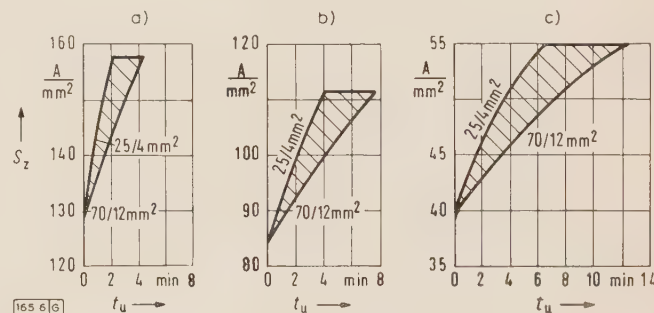


Bild 6. Zulässige 1-s-Stromdichte S_z , abhängig von der Unterbrechungszeit t_u für Freileitungsseile aus Stahl-Aluminium mit Kurzunterbrechung und Probeschalten auf Kurzschluß.

- a) für eine Relais-Kommandozeit $t_r = 0,1 \text{ s}$,
b) für eine Relais-Kommandozeit $t_r = 0,5 \text{ s}$,
c) für eine Relais-Kommandozeit $t_r = 2,0 \text{ s}$.

lässigen Stromdichte $S_z = 105 \text{ A/mm}^2$ die 1-s-Stromdichte entsprechend Gl. (8) zu

$$S_{th} = 105 \text{ A/mm}^2 \cdot \sqrt{(0,5 \text{ s} + 0,3 \text{ s}) / 1 \text{ s}} = 94 \text{ A/mm}^2$$

mit $t_0 = 1 \text{ s}$.

Aus Bild 1 ist zu sehen, daß sich das Seil beim ersten Einschalten mit Kurzunterbrechung (strichpunktierter Linienzug mit einem Pfeil) von 40 °C auf 145 °C erwärmt. Bei der Probeschaltung wirkt die zulässige Stromdichte S_z wie die 1-s-Stromdichte

$$S'_{th} = 105 \text{ A/mm}^2 \cdot \sqrt{(0,5 \text{ s} + 0,1 \text{ s}) / 1 \text{ s}} = 81,3 \text{ A/mm}^2.$$

Nach Bild 1 (strichpunktierter Linienzug mit zwei Pfeilen) erhält man für diese Stromdichte die zulässige Endtemperatur mit $\vartheta_e = 160 \text{ °C}$, wenn der Leiter auf die Temperatur $\vartheta'_3 = 76,5 \text{ °C}$ abgekühlt war. Bild 3 zeigt, daß bei Seilen aus Stahl-Aluminium mit dem Querschnitt Al/St 25/4 mm² für das Abkühlen von 145 °C auf 76,5 °C eine Zeit von 3,1 min – 0,3 min = 2,8 min erforderlich ist. Zum Wert $S_z = 105 \text{ A/mm}^2$ gehört also bei der Relaiszeit $t_r = 0,5 \text{ s}$ eine Schaltpause von 2,8 min. Auf diese Weise erhält man beispielsweise für Freileitungen aus Stahl-Aluminium das Bild 6.

Hiernach ist bei einer Relaiskommandozeit $t_r = 0,1 \text{ s}$ und kleinen Seilquerschnitten die Abkühlung in einer betriebs-

mäßigen Schaltpause von 3 min so groß, daß auch bei Wiederschaltung die gleiche Stromdichte zulässig ist, die für Betrieb mit Kurzunterbrechung ohne Wiederschaltung zugelassen werden kann, nämlich $S_{th}/\sqrt{(t_r+0,3s)/t_0}$, wobei für S_{th} die im ersten Abschnitt dieses Aufsatzes für einmaligen Kurzschluß angegebene Stromdichte einzusetzen ist ($S_{th} = 100 \text{ A/mm}^2$ für Seile aus Stahl-Aluminium). Bei einer Schaltpause von nur 2 min ist aber bei den betrachteten Seilquerschnitten aus Stahl-Aluminium fast immer eine Herabsetzung der Stromdichte zur Berücksichtigung der Probe-schaltung erforderlich.

Praktische Nutzenanwendung

Für die praktische Auswertung des Vorstehenden wird von einer bekannten Stoßkurzschluß-Wechselstromleistung $P_{sw} = \sqrt{3} U I_{sw}$ ausgegangen. Mit Gl. (6) und (7) erhält man für fernab vom Generator stattfindende Kurzschlüsse den

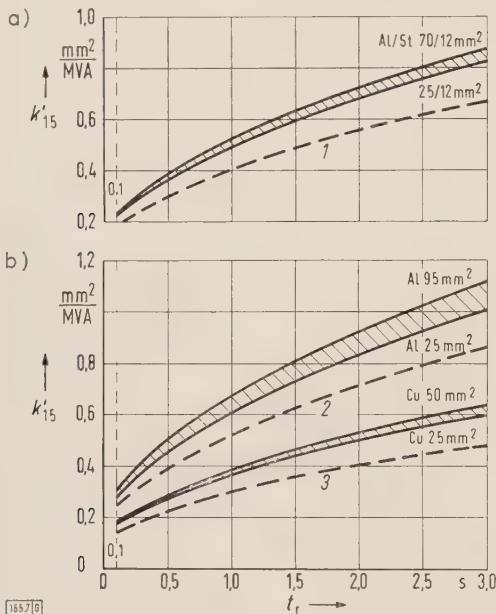


Bild 7. Kurzschlußfestigkeit von Freileitungen in Netzen ohne Kurzunterbrechung, Probeschaltung nach 2 min.

a) Stahl-Aluminium-Seile mit Al/St 70/12 bis 25/4 mm² Querschnitt,
b) für Aluminium- und Kupfer-Seile mit 95 bis 25 mm² bzw. 50 bis 25 mm² Querschnitt.

- 1 Stahl-Al-Seile ohne Probeschaltung
- 2 Al-Seile ohne Probeschaltung
- 3 Cu-Seile ohne Probeschaltung

Sollquerschnitt q_s des Freileitungsseiles für den Bereich der Relaiskommandozeit um $t_r = 0,1 \text{ s}$ mit $t_0 = 1 \text{ s}$ aus

$$q_s = \frac{1,05 \cdot P_{sw}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot S_{th}} \cdot \sqrt{(t_r + 0,1 \text{ s})/t_0} \quad (11)$$

und für $t_r \geq 0,4 \text{ s}$ aus

$$q_s = \frac{P_{sw}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot S_{th}} \cdot \sqrt{(t_r + 0,1 \text{ s})/t_0} \quad (12)$$

das heißt, es ist

$$q_s = k \cdot P_{sw} \quad (13)$$

wenn

$$k = \frac{1,05 \cdot \sqrt{(t_r + 0,1 \text{ s})/t_0}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot S_{th}} \quad \text{bzw.} \quad k = \frac{\sqrt{(t_r + 0,1 \text{ s})/t_0}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot S_{th}}$$

gesetzt wird. Gl. (11) bis (13) sind Größengleichungen, die Dimension von k ist mm^2/VA , wenn die Spannung U in V, die Stromdichte S in A/mm^2 und die Stoßkurzschluß-Wechselstromleistung P_{sw} in VA eingesetzt werden. Für die Praxis ist es jedoch zweckmäßig, die Spannung U in kV und die Stoßkurzschluß-Wechselstromleistung P_{sw} in MVA einzusetzen. Hiermit ergibt sich

$$k' = 1000 k.$$

Bild 7 und 8 zeigt die Werte von k'_{15} für 15-kV-Netze, abhängig von der Relaiskommandozeit t_r , unter der Annahme, daß die zusätzliche Auslösezeit 0,1 s beträgt. Für abweichende Betriebsspannungen U gilt

$$q_s = [15 \text{ kV}/U] \cdot k'_{15} \cdot P_{sw} \quad (14)$$

wenn die Spannung U in kV und die Stoßkurzschluß-Wechselstromleistung P_{sw} in MVA eingesetzt werden. Bei Stahl-Aluminium-Seilen ist q_s der Querschnitt des Aluminiumleiters.

Beispiel

Der erforderliche Mindestquerschnitt einer 15-kV-Stahl-Aluminium-Freileitung ist zu ermitteln, wenn die Stoßkurzschluß-Wechselstromleistung am Leitungsanfang mit $P_{sw} = 200 \text{ MVA}$ bekannt ist. Ferner soll keine Kurzunter-

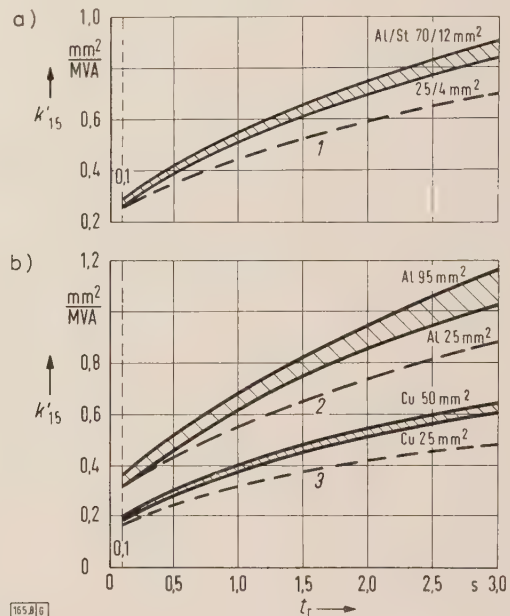


Bild 8. Kurzschlußfestigkeit von Freileitungen in Netzen mit Kurzunterbrechung, Probeschaltung nach 2 min.

a) Stahl-Aluminium-Seile mit Al/St 70/12 bis 25/4 mm² Querschnitt,
b) für Aluminium- und Kupfer-Seile mit 95 bis 25 mm² bzw. 50 bis 25 mm² Querschnitt.

Fehlende Angaben siehe Bild 7.

brechung, aber Probeschaltung nach 2 min in Betracht kommen. Das Relais am Leitungsanfang sei auf 0,5 s eingestellt.

Aus Bild 7 erhält man für die Relaiskommandozeit $t_r = 0,5 \text{ s}$ bei einem Stahl-Aluminium-Seil mit einem Querschnitt Al/St 70/12 mm² die Konstante $k'_{15} = 0,39 \text{ mm}^2/\text{MVA}$. Erforderlich ist also ein Querschnitt

$$q_s = k'_{15} \cdot P_{sw} = 0,39 \text{ mm}^2/\text{MVA} \cdot 200 \text{ MVA} = 78 \text{ mm}^2.$$

Zu wählen ist als Mindestquerschnitt ein Stahl-Aluminium-Seil Al/St 95/15 mm² mit einem Aluminiumquerschnitt von 90 mm².

Beim Verwenden eines Relais mit einer Schnellzeit 0,1 s wäre nach Bild 7 ein Sollquerschnitt von

$$q_s = k'_{15} \cdot P_{sw} = 0,24 \text{ mm}^2/\text{MVA} \cdot 200 \text{ MVA} = 48 \text{ mm}^2,$$

also ein Stahl-Aluminium-Seil mit einem Querschnitt Al/St 50/8 mm² ausreichend.

Es ergibt sich die Frage, ob man die jeweils eingestellte kürzeste Relaiskommandozeit t_r bei der Ermittlung des Leitungsquerschnittes einsetzen darf oder ob mit dem Versagen eines Schalters und daher mit der übergeordneten Reservezeit zu rechnen ist. Eine solche Vorsicht erscheint indessen übertrieben, da

1. das Versagen von regelmäßig gewarteten Schaltern oder Relais verhältnismäßig selten ist,
2. die Kurzschlußleistungen für den Streckenanfang errechnet sind und mit der Entfernung des Kurzschlusses vom Streckenanfang stark sinken,
3. die errechneten Kurzschlußleistungen Höchstwerte darstellen, die je nach Maschinen- und Transformatoreneinsatz im Kurzschlußfall keinesfalls erreicht zu werden brauchen,
4. die Abkühlungskurven der Seile unter besonders ungünstigen Bedingungen, nämlich für neue Seile und Windstille, ermittelt worden sind.

Für den praktischen Gebrauch ist von besonderem Interesse, welche Stoßkurzschluß-Wechselstromleistungen am Anfang der verschiedenen üblichen Freileitungsquerschnitte zulässig sind, wenn die geringstmögliche Relaiskommandozeit $t_r = 0,1$ s gewählt wird. Tafel 2 enthält diese Werte für 15-kV-Netze, wobei folgende vier Fälle betrachtet werden:

1. nur einmaliger Kurzschluß ohne Wiedereinschaltung (Probeschaltung),
2. Kurzschluß mit Probeschaltung nach einer Schuttpause von 3 oder 2 min,
3. Betrieb mit Kurzunterbrechung ohne anschließende Probeschaltung. Bei erfolgloser Kurzunterbrechung muß also die Leitungsstrecke zunächst untersucht werden.
4. Betrieb mit Kurzunterbrechung und Probeschaltung nach einer Schuttpause von 3 oder 2 min. Bei der Probeschaltung ist die Kurzunterbrechung außer Betrieb gesetzt.

Bei anderen Betriebsspannungen sind die Werte der Tafel 2 mit dem Faktor $[U/15 \text{ kV}]$ zu multiplizieren, dabei ist die Spannung U in Kilovolt einzusetzen.

Drosselspulen werden zum Begrenzen der Kurzschlußleistungen in ländlichen Freileitungsnetzen selten verwendet. Neu zu erstellende Freileitungen, die von einem Umspannwerk ausgehen, sollte man vielmehr mit Rücksicht auf die künftige Entwicklung im allgemeinen so bemessen, daß ihre Kurzschlußfestigkeit der Kurzschlußleistung entspricht, für welche die Anlagen des Umspannwerkes gebaut sind. Man wird dabei am besten voraussetzen, daß später bei der vollen Kurzschlußleistung des Umspannwerkes neuzeitliche Relais mit einer Kommandozeit $t_r = 0,1$ s und Kurzunterbrechung mit Probeschaltung nach 2 oder 3 min vorhanden sind, wobei die Leitungen aber natürlich auch bei den zu-

nächst vorliegenden Bedingungen — u. U. geringere Kurzschlußleistung bei Verwendung älterer Relais mit längerer Auslösezeit — ausreichend kurzschlußfest sein müssen.

Sollen also die von einem Umspannwerk abgehenden Freileitungen die gleiche Kurzschlußfestigkeit wie die Anlagen des Umspannwerkes erhalten, so dürfen bei den vorstehend für die spätere Betriebsweise genannten Bedingungen die Mindestquerschnitte der Tafel 3, Fall 4, nicht unterschritten werden. In 15-kV-Netzen sollten hiernach z. B. die Leitungen, die von Umspannwerken mit 200 MVA Ausbauleistung abgehen, keinen geringeren Querschnitt als 50 mm² bei Kupfer und Al/St 70/12 mm² bei Stahl-Aluminium

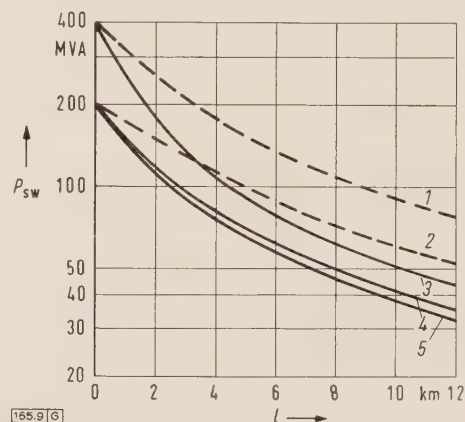


Bild 9. Einfluß der Leitungslänge l auf die Stoß-Kurzschluß-Wechselstromleistung P_{sw} bei 15 kV Spannung.

1. Kabel aus Kupfer mit 95 mm² Querschnitt
2. Kabel aus Aluminium mit 95 mm² Querschnitt
3. Freileitung mit Al/St 120/21 mm² Querschnitt
4. Freileitung mit Al/St 95/15 mm² Querschnitt
5. Freileitung aus Kupfer mit 50 mm² Querschnitt

erhalten. Für andere Spannungen und Kurzschlußleistungen läßt sich eine entsprechende Tafel aus Bild 7 und 8 leicht berechnen.

Die Kurzschlußleistung nimmt mit der Entfernung vom Umspannwerk stark ab, wie beispielsweise aus Bild 9 für 15-kV-Stichleitungen zu erkennen ist. Wegen der in ländlichen Mittelspannungsnetzen üblichen verhältnismäßig großen Entfernung der mit Impedanz- und Konduktanz-Relais ausgerüsteten Streckenschalter voneinander sind daher beim Anwenden der Tafel 3 im allgemeinen auch die Teile der Leitungen kurzschlußmäßig ausreichend bemessen, die nicht mehr in der Schnellzeit, sondern in der nächsten Zeitstufe abgeschaltet werden. Besonders müssen aber Stichleitungen beachtet werden, die in der Nähe der Umspannwerke von den Hauptstrecken abzweigen. Sie müssen trotz schwacher Belastung ebenfalls große Querschnitte erhalten, falls man sich nicht zu einer Herabsetzung der Kurzschluß-

Tafel 2. Bei verschiedenen Leitungsquerschnitten und kürzester üblicher Relaiszeit maximal zulässige Stoßkurzschluß-Wechselstromleistungen P_{sw} für Kurzschlüsse in 15-kV-Netzen, bei denen die Entfernung bis zum Generator groß ist.

Werkstoff und Querschnitt der Freileitung mm ²	zulässige Belastung P_{sw} bei 15 kV Spannung und einer Relaiskommandozeit $t_r = 0,1$ s MVA					
	Fall 1	Fall 2 Wiederzuschalten nach		Fall 3	Fall 4 Wiederzuschalten nach	
		3 min	2 min		3 min	2 min
Kupfer 25	185	155	150	130	130	125
Kupfer 35	265	220	205	190	185	175
Kupfer 50	375	300	290	255	250	240
Kupfer 70	510	395	380	360	330	315
Aluminium 25	105	95	90	75	75	75
Aluminium 35	150	130	125	105	105	105
Aluminium 50	210	180	170	150	150	140
Aluminium 70	285	235	225	200	195	190
Aluminium 95	405	320	310	285	270	260
Stahl-Aluminium Al/St 25/4	130	115	105	90	90	90
Stahl-Aluminium Al/St 35/3	190	160	150	135	135	130
Stahl-Aluminium Al/St 50/8	265	220	210	190	185	175
Stahl-Aluminium Al/St 70/12	365	290	280	260	245	230
Stahl-Aluminium Al/St 95/5	500	380	370	350	320	305

Tafel 3. Für Kurzschlüsse bei kürzester üblicher Relaiszeit, bei denen die Entfernung bis zum Generator groß ist, mindestens erforderliche Freileitungsquerschnitte. (Die Klammerwerte entsprechen zwar nicht mehr ganz der Rechnung, erscheinen aber allenfalls noch tragbar.)

Betriebsspannung U kV	Kurzschlußleistung P_{sw} MVA	Werkstoff der Freileitung	erforderlicher Mindestquerschnitt bei $t_r = 0,1$ s mm ²					
			Fall 1	Fall 2 Wiederzuschalten nach		Fall 3	Fall 4 Wiederzuschalten nach	
				3 min	2 min		3 min	2 min
15	200 ¹⁾	Kupfer	35	35	35	50	50	50
		Aluminium	50	70	70	70	70	95
		Stahl-Aluminium	50 (35)	50	50	70 (50)	70	70
23	200 ²⁾	Kupfer	25	25	25	35	35	35
		Aluminium	35	50	50	50	50	70 (50)
		Stahl-Aluminium	35	35	35	50	50	50

- 1) Entspricht 266 MVA Leistung bei 20 kV Spannung.
- 2) Entspricht 150 MVA Leistung bei 15 kV Spannung.

leistung durch Einbau von strombegrenzenden Hochspannungs-Hochleistungs-Sicherungen am Anfang der Stickleitung entschließt.

Ergebnis

Zur Ermittlung der Kurzschlußfestigkeit von Freileitungen aus Stahl-Aluminium sollte an Stelle einer bekannten Kurvenschar für die im Kurzschlußfall zulässige Stromdichte von Aluminiumleitern die geeignete Kurvenschar für Stahl-Aluminium verwendet werden. Bei ländlichen Mittelspannungsnetzen mit Kurzschlüssen, bei denen die Entfernung zum Generator groß ist, läßt sich der für eine ausreichende Kurzschlußfestigkeit erforderliche Mindestquerschnitt der Freileitungen nach einfachen Formeln berechnen. Die übliche Probeschaltung nach 2 oder 3 min muß bei Freileitungen mit und ohne Kurzunterbrechung berücksichtigt werden, da die Leitungsseile, wie die Versuchsergebnisse zeigen, im allgemeinen mehr als 2 bis 3 min zum erforderlichen Abkühlen benötigen.

Für 15-kV-Netze und die vier Fälle

1. nur einmaliger Kurzschluß ohne Probeschaltung,
2. Kurzschluß mit Probeschaltung nach 3 oder 2 min,
3. Betrieb mit Kurzunterbrechung ohne Probeschaltung,
4. Betrieb mit Kurzunterbrechung und Probeschaltung

sind in Bild 7 und 8 Kurven zur Ermittlung der kurzschlußfesten Leiterquerschnitte, abhängig von der Relaiskommandozeit t_r , dargestellt. In Tafel 2 sind Zahlenwerte für die am Leitungsanfang höchstzulässige Stoßkurzschluß-Wechselstromleistung, abhängig von den Leiterquerschnitten verschiedener Werkstoffe, für die vier erwähnten verschiedenen

Fälle zusammengestellt. Nach Tafel 3 müssen bei 15 und 20 kV Spannung größere Leiterquerschnitte als bisher teilweise üblich verlegt werden, wenn die Kurzschlußfestigkeit der von einem Umspannwerk abgehenden Freileitungen auch bei Kurzunterbrechung und Probeschaltung nach 2 bis 3 min der in ländlichen Umspannwerken üblichen Kurzschlußleistung von 200 MVA entsprechen soll. Besondere Beachtung verdienen Stickleitungen, die in der Nähe der Umspannwerke von den Hauptleitungen abzweigen.

Zusammenfassung

Aus bekannten Kurven über die Kurzschlußerwärmung und eigenen Versuchen über die Abkühlung von Freileitungsseilen werden vereinfachte Angaben zum Bemessen der Freileitungsseile in ländlichen Mittelspannungsnetzen abgeleitet. Ferner wird der zusätzlichen Beanspruchung durch die übliche Wiederschaltung auf den etwa noch bestehenden Kurzschluß nach einer Schaltpause von 2 bis 3 min sowie dem Einfluß der Kurzunterbrechung Rechnung getragen. Die Zuordnung von Freileitungsquerschnitten und Stoßkurzschluß-Wechselstromleistungen wird in Kurven und Tafeln behandelt.

Schrifttum

- [1] Behrens, P., u. Meyer, H., u. Neizer, J.: Aluminium-Freileitungen Aluminium-Verlags-GmbH Düsseldorf 1954, S. 179-182.
- [2] Formel- und Tabellenbuch für Starkstrom-Ingenieure. Hrsgb. Siemens-Schuckertwerke, Verlag Girardet, Essen 1953, S. 286-287.
- [3] Kirchhoff, W.: Kurzzeitige Erwärmung elektrischer Leiter. CEG-Ber. Bd. 2 (1956), S. 30-34.
- [4] Roeper, R.: Ermittlung der thermischen Beanspruchung bei nichtstationären Kurzschlußströmen. ETZ Bd. 70 (1949) S. 131-135.
- [5] VDE 0670/1929 (REH Anhang).
- [6] VDE 0670/XI. 41, § 11.

Das Einzungen-Resonanzrelais, ein vielseitig verwendbares Bauelement

Von Walter Rauch und Albert Ueberschuß, München*)

DK 621.318.563.2

Für die Übertragung von Meß- und Steuergrößen werden vielfach Sinusschwingungen oder deren Kombinationen verwendet, die, abgesehen von einigen neuerdings bekannt gewordenen elektromechanischen Filtern, bei höheren Frequenzen mit Hilfe elektrischer Filter empfangen werden. Bei Frequenzen unterhalb 1000 Hz sind für solche Anwendungen Resonanzrelais den elektrischen Filtern überlegen. Wegen der hohen Güte und Konstanz gestatten deren elektromechanische Schwinger, in der Frequenz wesentlich dichter nebeneinanderliegende Schwingungen zu trennen. Über die Eigenschaften der Resonanzrelais soll im folgenden berichtet werden.

Ein- und Mehrsystemrelais

Elektromagnetische Frequenzrelais bestehen aus einem Schwingssystem und einem gepolten Magnetsystem mit Spule, Kern, Polschuhen und einem Dauermagneten. Das Magnetsystem muß gepolt ausgeführt werden, damit der Zusammenhang zwischen Erregung und Kraft linear ist; nur dann wird der Schwinger in der Frequenz des Spulenstromes angeregt.

Ist in einem Übertragungssystem der Schwankungsbereich für den Erregerstrom der Resonanzrelais bekannt, so bestimmt die Selektionskurve der Relais den kleinsten noch zulässigen Frequenzabstand zweier Signalschwingungen. Damit ergibt sich die größte Anzahl der Sinusschwingungen, die in einem vorgegebenen Frequenzbereich noch getrennt werden können. Ist diese Anzahl gleich n und ist ein Signal nur durch die Frequenz einer Schwingung gekennzeichnet, so lassen sich n Signale übertragen. Reicht diese Anzahl nicht aus, so muß man jedes Signal durch eine Kombination mehrerer, z. B. a Schwingungen bestimmen. Die Zahl der möglichen Signale erhöht sich dann auf $\binom{n}{a}$. Jeder Empfänger enthält dann a Relais. Da dies, z. B. bei Selektivrufsystemen im Verkehrsfunk, oft der Fall ist, liegt der Gedanke nahe, mehrere Schwingungssysteme

in einem Relaisaufbau mit nur einer Spule und einem Dauermagneten zu vereinigen.

Ein solches Mehrsystemrelais scheint wegen des geringeren Aufwandes und Platzbedarfs günstiger. Außerdem wird bei gleicher Systemempfindlichkeit von einer Spule weniger Erregerleistung benötigt als bei Zusammenschalten mehrerer Spulen von Einzelsystemen. Voraussetzung für die Verwendung von Mehrsystemrelais ist aber die uneingeschränkte Austauschmöglichkeit der Systeme ohne neuen Abgleich, da sonst jede Kombination eigens angefertigt oder am Lager vorrätig gehalten werden müßte. Die Forderung nach Austauschbarkeit ist nur mit großem Aufwand zu erfüllen. Die Resonanzfrequenz des Schwingers hängt nämlich nicht nur von seinen mechanischen Eigenschaften, sondern auch noch von der Gleichinduktion im Arbeitsluftspalt ab.

Denkt man sich die Masse m des in Bild 1 dargestellten Schwingers im Schwerpunkt vereinigt, so gilt für die Eigenfrequenz

$$f_0 = \text{const} \sqrt{\frac{C}{m}}, \quad (1)$$

worin C die Federkonstante bedeutet. Am Schwinger greift nicht nur die Federkraft $F_F = C_1 \cdot s$ mit s als Auslenkung, sondern auch die Magnetkraft $F_M = -K \cdot \Phi^2 \cdot s$ an [1,2]. Hierin ist Φ der Dauerfluß und K eine Konstante.

*) Dipl.-Ing. W. Rauch und Dipl.-Ing. A. Ueberschuß sind Mitarbeiter im Zentral-Laboratorium der Siemens & Halske AG.

Berücksichtigt man die Änderung der Federkonstante C_1 durch das Einwirken von F_M , so ergibt die Rechnung eine relative Frequenzänderung

$$\frac{\Delta f_0}{f_0} = - \frac{K \cdot \Phi^2}{2 C_1} \quad (2)$$

wenn man mit f_0 die Resonanzfrequenz für $\Phi = 0$ bezeichnet.

Der Dauerfluß verringert also die Eigenfrequenz des Schwingers. Setzt ein bestimmter Dauerfluß Φ die Federkonstante z. B. um so viel herab, daß $\frac{K \Phi^2}{2 C_1} = \frac{1}{100}$ wird, so erniedrigt sich gemäß Gl. (2) eine Resonanzfrequenz von $f_0 = 500$ Hz um $\Delta f_0 = 5$ Hz. Ein solcher Schwinger hat also unter der Einwirkung des Magnetfeldes die Resonanzfrequenz $f_0 = 495$ Hz. Eine beim Systemaustausch sich er-

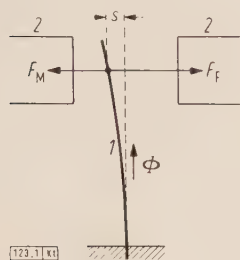


Bild 1. Zur Berechnung der Änderung der Resonanzfrequenz durch den Dauerfluß beim einseitig eingespannten Schwinger.

- 1 Schwinger
- 2 Polschuhe
- Φ Dauerfluß
- F_F Federkraft bei der Auslenkung s
- F_M Magnetkraft bei der Auslenkung s

gebende Flußänderung $\Delta \Phi$ wirkt sich auf Δf_0 aus. In dem gewählten Beispiel ergibt ein Wert $\Delta \Phi / \Phi$ von 1 % eine Änderung von Δf_0 um 0,1 Hz. Setzt man voraus, daß beim Abgleich und Austausch eines Schwingsystems der Fluß bis zu $\pm 10\%$ schwankt, so erhält man in dem genannten Beispiel einen Frequenzfehler bis zu ± 1 Hz. In vielen Anwendungsfällen kann ein solcher Fehler bereits zu einer merklichen Einbuße in der Zahl der Übertragungsfrequenzen führen, da man mit Frequenzabständen bis zu 10 Hz herab arbeitet.

Auf Grund dieser Überlegungen muß ein Mehrsystemrelais sehr genau aufgebaut werden, damit beim Austausch der Schwingsysteme der Dauerfluß konstant bleibt; ferner müssen die Magnetkreise möglichst offen ausgeführt werden, weil die Schwingsysteme sich nicht gegenseitig beeinflussen dürfen. Hiermit geht der beim Mehrsystemrelais erwartete Empfindlichkeitserfolg zum Teil wieder verloren, und außerdem wird ein magnetisches Abschirmen erschwert, weil eine Kappe aus ferromagnetischem Material wiederum die Flüsse ändert.

Den genannten Vorteilen eines Mehrsystemrelais stehen somit schwerwiegende Nachteile gegenüber. Dies führte dazu, daß fast ausschließlich Einsystemrelais in der Praxis verwendet werden

Art des Schwingsystems

Bisher sind, abgesehen von einigen sehr einfachen Ausführungen mit geringer Selektivität, nur Resonanzrelais beschrieben worden, die als Zweizungenrelais [3 bis 5] ausgeführt waren. Die Schwingsysteme dieser Relais bestehen aus Stimmgabeln oder zwei gekoppelten Einzelschwingern.

Mit Koppelschwingern kann man Bandfilter-Selektionskurven erzielen, die hohe Flankensteilheit und im Durchlaßbereich große Bandbreite liefern. Bandfilterrelais sind aber komplizierter als Stimmgabelrelais im Aufbau und insbesondere im Abgleich, bei dem nicht nur die beiden Zungen abgestimmt werden müssen, sondern auch noch ein Einstellen der Kopplung notwendig ist. In den meisten Anwendungsfällen werden die Relais gleichzeitig mit mehreren Schwingungen verschiedener Frequenz erregt. Hierbei kann, wie noch gezeigt wird, die Selektivität durch Bildung von Kombinationstönen geringer werden und unter

Umständen dabei auf Werte herabsinken, die unter denen liegen, die mit Relais normaler Resonanzkurve erreicht werden. Eine den Bandfilterrelais entsprechende Bandbreite ist gegebenenfalls auch durch kontaktseitiges Parallelschalten zweier, in ihrer Frequenz etwas unterschiedlicher Relais mit normaler Resonanzkurve erreichbar.

Stimmgabelsysteme bieten grundsätzlich den Vorteil, im Relais einfach befestigt werden zu können, da sich im Fuß der Gabel ein Schwingungsknoten ausbildet. Der Kontakt beeinflusst aber die Schwingung; man kommt insbesondere bei hoher Güte der Schwinger mit einer starren Befestigung nicht aus. Ferner ist das Abstimmen von Stimmgabeln aufwendig, da nicht nur die Stimmgabelfrequenz eingestellt werden muß, sondern ein sehr exakter Abgleich beider Zinken auf gleiche Frequenz notwendig ist.

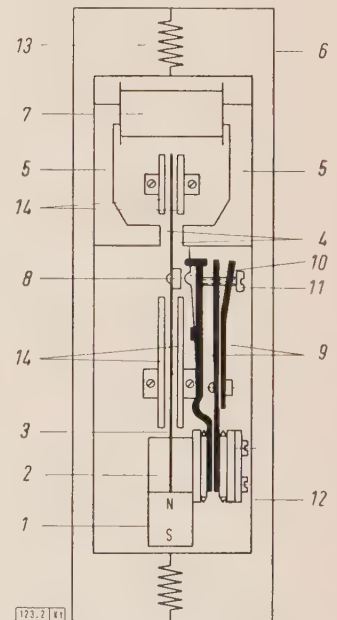
Als einfachste Lösung bietet sich deshalb der Einzelschwinger mit federnder Aufhängung an. Federnde Aufhängungen von Relaisystemen sind in der Zerkhacker-technik seit langem erprobt. Der Einzelschwinger bietet ferner den Vorteil, daß sich die Magnetkreise gut schließen lassen, was vor allem große Empfindlichkeit bedeutet.

Aufbau eines Resonanzrelais mit Einzelschwinger

Der Magnetkreis des Relais entspricht im Prinzip dem eines gepolten Telegraphenrelais. Dauer- und Erregerfluß sind getrennt geführt (Bild 2). Der Dauerfluß verläuft vom

Bild 2. Aufbau eines Einzungen-Resonanzrelais.

- 1 Magnet
- 2 Zungeneinspannklotz
- 3 Schwingzunge
- 4 Arbeitsluftspalte
- 5 Joche
- 6 Träger
- 7 Erregerspule
- 8 Kontakt
- 9 Kontaktträger
- 10 Kontaktträdrähtchen
- 11 Stellschraube
- 12 Systemwanne
- 13 Aufhängung
- 14 Dämpfungsbleche



Magneten 1 über den Zungeneinspannklotz 2 und die Schwingzunge 3 zu den Arbeitsluftspalten 4, teilt sich dort auf und fließt nach links oder rechts über die Joche 5 und den Träger 6, der aus Eisen besteht, zum Magneten zurück. Der in der Erregerspule 7 erzeugte Steuerfluß gelangt über die Joche zu den Arbeitsluftspalten und durchsetzt beide in gleicher Richtung.

Der Schwinger trägt unterhalb der Joche einen Edelmetallkontakt 8, der bei einer bestimmten Schwingamplitude ein dünnes, am Kontaktträger 9 befestigtes Drähtchen 10 berührt. Das Drähtchen ist einseitig eingespannt, liegt an einer Gegenlage an und läßt sich mit Hilfe einer Stellschraube 11 in seinem Abstand zum Schwingerkontakt einstellen. Schwinger, Dauermagnet, Erregerkreis und Kontaktanordnung sind in einer Wanne 12 aus nichtmagnetischem Werkstoff befestigt, die im Träger federnd aufgehängt ist. Die Eigenfrequenz der Wanne in der Aufhängung 13 liegt weit unterhalb der tiefsten Schwingerfrequenz, so daß ein Ableiten der Schwingenergie zum Träger verhindert wird und bei Berühren des Relais die Schwingeneigenschaften nicht beeinflusst werden. Der Kraftanstieg der Federn 13 ist

progressiv, so daß das Relais nicht nur unempfindlich gegen Stöße ist, sondern auch beim Schütteln keine ausgeprägte Resonanzstelle zeigt.

In geringem Abstand vom Schwinger sind ober- und unterhalb der Joche Dämpfungsbleche 14 vorgesehen. Durch Ändern ihres Abstandes zum Schwinger kann die Schwingergröße und damit die Bandbreite eingestellt werden. Für hohe Frequenzen, d. h. für kurze Schwinger, entfallen die oberen Bleche, während die unteren in jedem Falle vorhanden sind, da sie zur Flußverstärkung mitbenutzt werden. Das Relais hat einen 6-poligen Stecksockel. Es ist hermetisch abgeschlossen und kann deshalb auch bei sehr hohen Klimaansprüchen ohne Einbuße an Kontaktsicherheit verwendet werden (Bild 3). Wegen seines geringen Gewichts, seiner kleinen Abmessungen und magnetischen Schirmung ist es besonders geeignet, in modernen, raumsparend aufgebauten Geräten verwendet zu werden.

Eigenschaften

Resonanzkurve

Die Eigenfrequenz einer einseitig eingespannten Blattfeder ist

$$f_0 = \text{const} \cdot \frac{a}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (3)$$

wobei

a die Dicke der Feder,
 l die Länge der Feder,
 E den Elastizitätsmodul und
 ρ die Dichte des Federwerkstoffes bedeuten.

Die Baulänge des Relais wird bestimmt durch die größte Länge des Schwingers. Die Dicke des Schwingers muß so gewählt werden, daß sich bei seiner größten Länge die geforderte tiefste Frequenz ergibt. Höhere Frequenzen erhält man durch Kürzen des Schwingers (Bild 2). Will man aus fertigungstechnischen Gründen den Abstand zwischen Einspannstelle und Arbeitsluftspalt konstant halten, so bestimmt die diesem Abstand entsprechende Schwingerlänge die höchste Frequenz. Da nach Gl. (3) die Frequenz quadratisch von der Länge abhängt, kann man mit einer geringen Längenänderung des Schwingers die Frequenz verhältnismäßig stark verändern.

Ein Resonanzrelais hat angesprochen, wenn die Amplitude des Schwingers so groß ist, daß der auf dem Schwinger befindliche Kontakt den Gegenkontakt berührt. Trägt man den Erregerstrom, bei dem das Relais gerade periodisch Kontakt gibt, als Funktion der Frequenz auf, so erhält man die Ansprechkurve des Relais. Sie entspricht dem Scheinwiderstandsverlauf eines Reihenschwingkreises und errechnet sich nach der Gleichung

$$\frac{I}{I_0} = \frac{f}{f_0} \sqrt{1 + Q^2 \left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2};$$

dabei sind

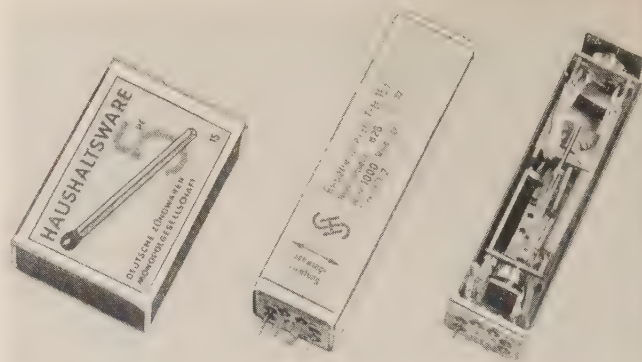
I der Ansprechstrom bei der Frequenz f ,
 I_0 der Ansprechstrom bei der Resonanzfrequenz f_0 ,
 Q die Schwingergüte.

Das Verhältnis I/I_0 bei einer Frequenz f hängt nur von der Schwingergüte ab. Für $I/I_0 = \sqrt{2}$ wird

$$Q \approx \frac{f_0}{2 \Delta f}$$

Bei konstanter Schwingergüte nimmt die Bandbreite $2 \Delta f$ mit steigender Resonanzfrequenz zu. Für ein solches Relais muß das Schema der Steuerfrequenzen so aufgebaut sein, daß mit wachsender Frequenz die Frequenzabstände zunehmen (geometrisches Frequenzraster).

Durch Vervielfachen oder Teilen einer stabilen Grundfrequenz lassen sich die Steuertöne auf sehr wirtschaft-



123. 3 Kt

Bild 3. Einzungen-Resonanzrelais, geöffnet und geschlossen. Abmessungen des Gehäuses: 17 mm × 22 mm × 81 mm.

liche Weise herstellen. Diese haben dann im ganzen Frequenzbereich gleiche Abstände voneinander. Für ein solches arithmetisches Frequenzraster muß die Bandbreite des Relais konstant gehalten werden und deshalb die Schwingergröße mit der Frequenz zunehmen. Bei dem beschriebenen Relais kann man die Güte durch Dämpfungsbleche einstellen; die Bandbreite f_0/Q beträgt ungefähr

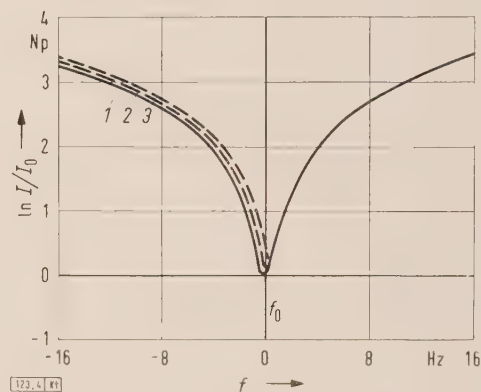


Bild 4. Ansprechkurven des Resonanzrelais.

1 sehr kleiner Kontaktzeitgrad α
 2 Kontaktzeitgrad $\alpha = 5\%$
 3 Kontaktzeitgrad $\alpha = 10\%$

0 Np gilt für Ansprechstrom $I_0 = 0,6$ mA, Leistung 0,1 mVA.

f ist die Frequenzabweichung gegenüber f_0 ; Erläuterung von α im Text.

1,1 Hz. Die in Bild 4 dargestellten Ansprechkurven gelten somit für den gesamten Frequenzbereich bei Erregung mit nur einem Ton.

Verhalten bei Mehrtonbetrieb

Wird das Relais mit mehreren Schwingungen benachbarter Frequenz erregt, so verringert sich die Selektivität $\ln I/I_0$, da dem Schwinger mehr Energie zugeführt wird. Werte hierfür bei gleichzeitiger Anwesenheit von einer bis vier Schwingungen sind Bild 5 zu entnehmen. Dem normalen Betriebsfall entsprechend sind hier die Ströme der einzelnen Schwingungen gleich groß.

Beim arithmetischen Frequenzraster kann man die Steuerfrequenzen so legen, daß auf der Übertragungsstrecke oder im Relais etwa entstehende Obertöne nicht wieder auf Steuerfrequenzen fallen. Stören können aber Kombinationstöne, insbesondere die dritter Ordnung. Sind z. B. zwei Frequenzen f_1 und f_2 um Δf und $2 \Delta f$ von der Resonanzfrequenz f_0 eines Relais entfernt, so kann durch nichtlineare Verzerrungen der Kombinationston $2 f_1 - f_2 = f_0$ entstehen und ein Relais zum Ansprechen bringen, ohne daß dessen Resonanzfrequenz gesendet wird. Die in Bild 5 genannten Selektivitätswerte mit z. B. 2,5 und 2,4 Np gelten dann nicht mehr, da im Fall der Bildung von Kombinationstönen die Erregerströme I gesenkt werden müssen, damit das Relais bei f_0 nicht mehr anspricht. Damit dieser Selektivitätsverlust

klein bleibt, müssen die Steuertöne möglichst verzerrungs-frei übertragen werden. Außerdem muß das Relais so aufgebaut sein, daß die auf den Schwinger ausgeübte Kraft linear vom Erregerstrom abhängt, was durch entsprechende Wahl des Werkstoffes und der Querschnitte im Erregerkreis erreicht werden kann. Sonst entstehen bei Mehr-tonbetrieb Kombinationstöne im Relais.

Kontaktzeitgrad und Lebensdauer

Der auf dem Schwinger angebrachte Kontakt berührt seinen als dünnes, einseitig eingespanntes Drähtchen ausgeführten Gegenkontakt (Bild 2) periodisch im Rhythmus der Schwingerfrequenz. Da die Kontaktzeit kürzer als eine Halperiode ist, ist der Kontaktzeitgrad α , das Verhältnis der Kontaktzeit zur vollen Periodendauer, immer kleiner als 50 %. Man kann α vergrößern, indem man auf beiden Seiten des Schwingers einen Gegenkontakt vorsieht. Dadurch wird der Aufwand, insbesondere für den Abgleich, vergrößert.

Im Bild 4 gilt die Kurve 1 für einen sehr kleinen Kontaktzeitgrad, d. h. daß hier der Schwinger den Gegenkontakt gerade periodisch berührt. Mit zunehmendem Kontaktzeitgrad verschiebt sich die linke Flanke der Ansprechkurve etwas nach höheren Frequenzen. Die Ursache dafür ist eine Erhöhung der Resonanzfrequenz bei der Kontaktgabe. Sie errechnet sich zu

$$\Delta f_0 = \alpha \cdot \frac{F_D}{F} f_0. \quad (4)$$

F_D bedeutet die Kraft des Drähtchens, die durch die Drahtdicke und die Vorspannung gegen seine Gegenlage bestimmt ist, F die Rückstellkraft der Schwingzunge bei der der Erregung entsprechenden Amplitude. Die Masse des

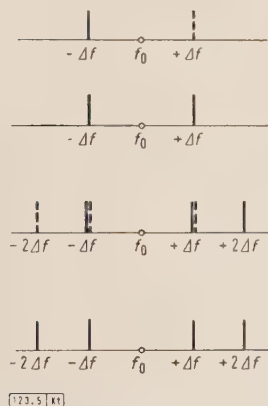


Bild 5. Selektivität $\ln I/I_0$ bei Erregung mit einer oder mehreren Schwingungen in gleichen Abständen Δf .

$\Delta f = 15 \text{ Hz}$
Bandbreite $f_0/Q \approx 1,1 \text{ Hz}$

Kontaktdrähtchens ist gegen die Schwinger Masse vernachlässigt. Gl. (4) zeigt, daß man versuchen soll, $\alpha \cdot F_D$ möglichst klein zu halten.

Legt man im einfachsten Fall über den Resonanzrelaiskontakt eine Spannung an einen Verbraucher R , so ist die mittlere Verbraucherleistung

$$P = I^2 \cdot R \cdot \alpha.$$

I ist der Strom während der Kontaktgabe. Mit kleiner werdendem α wächst für eine vorgegebene Leistung der Kontaktstrom. Der Strom bestimmt die Dicke des Drähtchens. Da aus Stabilitätsgründen ein bestimmter Vorspannweg nicht unterschritten werden darf, liegt mit der Drahtdicke die Vorspannung F_D fest.

Mit kleiner werdendem F_D sinkt somit der noch zulässige Kontaktstrom. Man wird den Kontaktzeitgrad kleiner als 10 % wählen, um nicht an Empfindlichkeit zu verlieren und die Drahtdicke so groß, daß die vorgegebene Leistung mit genügender Sicherheit und Lebensdauer geschaltet werden kann. Bei dem beschriebenen Relais (Bild 2) wurde F_D so gewählt, daß bei einem Kontaktzeitgrad von 5 % noch eine Leistung von 3 W bei einem Strom von 0,5 A geschaltet werden kann.

In den meisten Anwendungsfällen wird man die intermittierende Kontaktgabe in eine dauernde umwandeln. Hierfür benutzt man „Folgeschaltungen“ [5], die im einfachsten Fall aus einem Relais und einem parallel geschalteten Kondensator mit Ladewiderstand bestehen. Mit einer solchen Folgeschaltung, die ein Relais mit einer Erregerleistung von 150 mW enthält, können $3 \cdot 10^5$ Schaltungen von 2 s Dauer ausgeführt werden. Dabei beträgt jeweils beim Laden des Kondensators die Schaltleistung 12 W. Setzt man die Kontaktbelastung, z. B. durch einen Transistor in der Folgeschaltung, auf den zehnten Teil herab, so kann das Relais mindestens $2 \cdot 10^6$ -mal geschaltet werden. Bis zu diesen

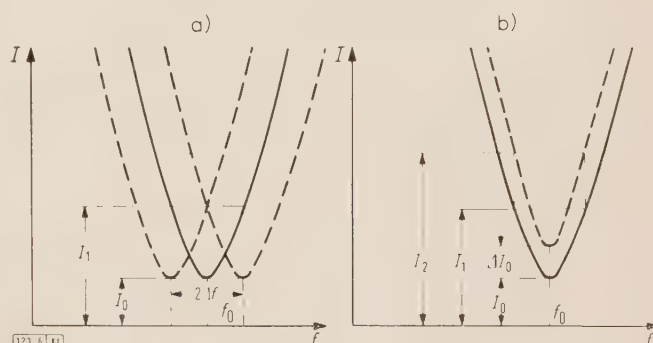


Bild 6. Betriebsstrom I für einen gegebenen Temperaturbereich a) bei Änderung von f_0 , b) bei Änderung von f_0 und I_0 .

f_0 Resonanzfrequenz
 Δf Änderung von f_0 im Temperaturbereich
 I_1 erforderlicher Betriebsstrom bei Änderung von f_0
 I_2 erforderlicher Betriebsstrom bei Änderung von f_0 und I_0

Schaltzahlen erhöht sich der Ansprechstrom des Resonanzrelais um etwa 20 %. Wesentlich höhere Schaltzahlen werden erreicht, wenn sich der Ansprechstrom stärker ändern darf.

Temperatureinfluß und Alterung

Damit ein Resonanzrelais auch in Fahrzeugen und im Freien benutzt werden kann, dürfen sich in einem weiten Temperaturbereich die Resonanzfrequenz und der Ansprechstrom nur wenig ändern. Da die Änderung der Resonanzfrequenz mit der Temperatur praktisch allein vom Elastizitätsmodul bestimmt wird, muß für den Schwinger ein ferromagnetischer Werkstoff mit sehr kleinem Temperaturkoeffizienten des Elastizitätsmoduls gewählt werden. Ferner muß das Relais genügend stabil aufgebaut sein, damit bei Temperaturänderungen der Kontaktabstand und somit der Ansprechstrom konstant bleiben.

Man berücksichtigt den Temperatureinfluß, indem man gemäß Bild 6 den Betriebsstrom entsprechend wählt. Ändert sich in einem bestimmten Temperaturbereich die Frequenz f_0 um $\pm \Delta f$, so muß ein Betriebsstrom I_1 gewählt werden, damit ein mit der Sendefrequenz f_0 erregtes Relais im ganzen Temperaturbereich sicher anspricht (Bild 6 a). Δf muß so angesetzt werden, daß eine geringe Frequenzänderung durch Altern mitberücksichtigt ist. Verschiebt sich der Ansprechstrom in ungünstiger Richtung, d. h. erhöht sich I_0 , so spricht das Relais erst bei einem höheren Strom I_2 im gesamten Temperaturbereich sicher an. Um den Wert $\ln I_2/I_0$ verringert sich die Selektivität $\ln I/I_0$ (Bild 6 b).

Für das beschriebene Relais betragen der Temperaturkoeffizient $1,7 \cdot 10^{-5}/\text{grad}$ und die Änderung von I_0 höchstens 25 %, so daß z. B. in einem Temperaturbereich von -20°C bis $+60^\circ\text{C}$ für eine Frequenz von 500 Hz gemäß Bild 4 sich $\ln I_2/I_0$ zu rd. 0,7 Np ergibt, wobei eine Frequenzunsicherheit durch Altern von $\pm 0,2$ Hz berücksichtigt ist. Hierbei ist der praktisch sehr selten vorkommende Fall, nämlich der, daß sich alle Einflüsse in ungünstiger Richtung addieren, betrachtet. Eine Änderung der Sendefrequenz braucht meist nicht berücksichtigt zu werden, da man heute frequenzkonstante Sender mit verhältnismäßig geringem Aufwand herstellen kann.

Schüttelfestigkeit

Das Relais muß auch für Fahrzeugbetrieb geeignet sein und bei den hier auftretenden Schüttelbeanspruchungen betriebssicher arbeiten. Bei fester Verbindung des Systems mit dem Sockel wirkt sich das Schütteln als Vorerregung des Schwingers aus, mit zunehmender Beschleunigung nimmt deshalb der Ansprechstrom stetig ab (Bild 7). Eine

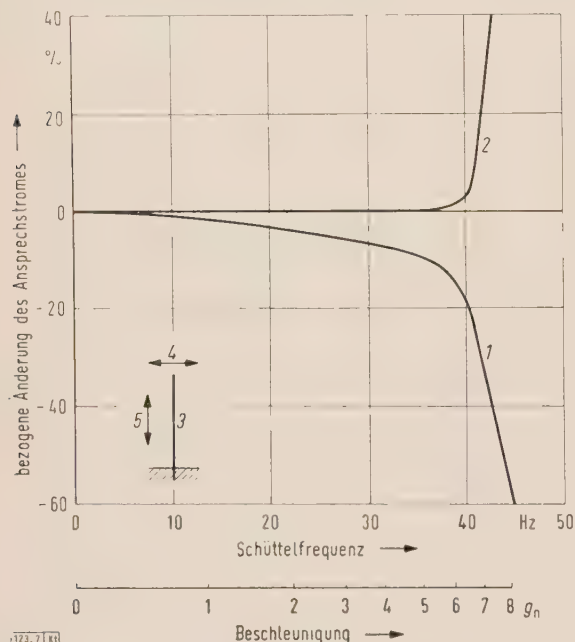


Bild 7. Änderung des Ansprechstromes bei Schüttelbeanspruchung.

- 1 Stimmgabelrelais ohne federnde Aufhängung
- 2 Einzungenrelais mit federnder Aufhängung
- 3 Schwinger
- 4 Schwingrichtung
- 5 Schüttelrichtung

federnde Aufhängung schützt das Schwingssystem, so daß sich zunächst die Empfindlichkeit nicht ändert. Erst wenn die Schüttelbeanspruchung so groß wird, daß sich Windungen der Aufhängefedern berühren, wird dem System Energie entzogen. Der Ansprechstrom steigt dann an. Für Fahrzeugbetrieb rechnet man mit Beschleunigungen bis etwa $4 g_n$ bei Schüttelfrequenzen bis etwa 30 Hz. Erst oberhalb dieses Bereiches zeigt sich für das Relais mit Einzelschwinger ein Einfluß auf den Ansprechwert.

Magnetische Abschirmung

Bei der heute üblichen gedrängten Gerätebauweise muß das Relais magnetisch geschirmt sein, damit es nahe an andere Bauteile gesetzt werden kann. Bei ungenügender Schirmung können sich unter dem Einfluß von Fremdfeldern und Eisenteilen der Dauerfluß und damit, wie schon ausgeführt, die Resonanzfrequenz und der Ansprechstrom ändern. Ferner kann ein ungeschirmtes Relais als Störstrahler wirken, wobei nicht nur die Erregerspule, sondern auch der Kontakt Störquellen sein können. Deshalb ist es notwendig, das Relais unter eine Kappe aus weichmagnetischem Werkstoff zu setzen. Ein gut geschlossener Erreger- und Dauer-

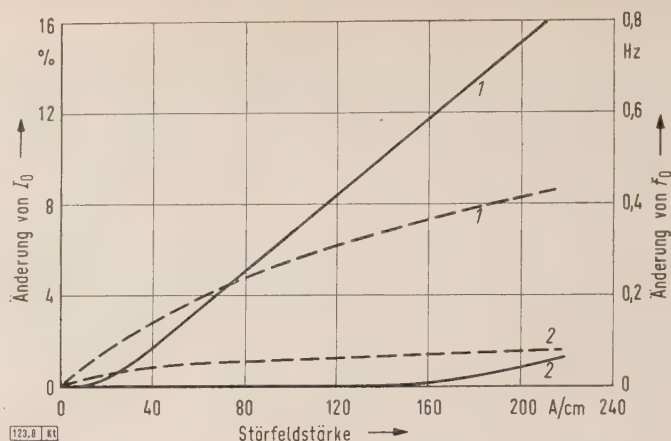


Bild 8. Einfluß eines Störfeldes auf die Änderung des Ansprechstromes I_0 , bezogen auf den Nenn-Ansprechstrom, und auf die Resonanzfrequenz f_0 .

Die Kurven für den Ansprechstrom sind ausgezogen, die für die Resonanzfrequenz gestrichelt dargestellt.

- 1 mit Messingkappe
- 2 mit Eisenkappe

flußkreis verbessert noch die magnetische Schirmwirkung und erleichtert den Abgleich des Relais, da bei offenen Magnetkreisen das Aufschieben der Schirmkappe Resonanzfrequenz und Ansprechstrom stark ändert. Gemäß Bild 2 kann der Erregerkreis beim Einzungenrelais auf einfache Weise mit Hilfe kleiner Arbeitsluftspalte gut geschlossen werden. Der Dauerflußkreis läßt sich dadurch schließen, daß man den Fluß von den Polschuhen zum Magneten durch einen Systemträger aus Eisen mit günstiger Formgebung zurückführt.

Bild 8 zeigt die Schirmwirkung von Kappen aus magnetischem und nichtmagnetischem Werkstoff.

Anwendungsmöglichkeiten

Das Hauptanwendungsgebiet für Resonanzrelais ist z. Z. wohl der Selektivruf [6 bis 8] für den im Aufbau befindlichen öffentlichen Landfunk der Deutschen Bundespost, zu dem der Landstraßenfunk, Stadtfunk und Hafenfunk gehören. Hier werden Resonanzrelais schon mit Erfolg verwendet. Die Fahrzeuge werden selektiv gerufen. Ein Generator liefert 40 Schwingungen, die bei 15 Hz Abstand im Bereich 352,5 bis 937,5 Hz liegen. Jedes Fahrzeug wird durch 4 Schwingungen gekennzeichnet, so daß insgesamt $\binom{40}{4} = 91390$ Fahrzeuge an das System angeschlossen werden können.

Neben diesen öffentlichen Diensten, bei denen Gespräche des Teilnehmers in das Postnetz weitervermittelt werden können, gibt es eine Reihe von privaten Funkdiensten, in denen das Resonanzrelais wegen der geringeren Teilnehmerzahl in einfacheren Geräten verwendet wird. Hierzu gehört z. B. der Taxifunk. In zunehmendem Maße werden Resonanzrelais in Ruf- und Meldeanlagen z. B. bei der Feuerwehr verwendet, mit denen es möglich ist, im Einzel-, Gruppen- oder Sammelruf über Draht oder Funk Durchsagen oder Kommandos abzusetzen. Für einen Einbau solcher Relais in Personenrufanlagen, wie sie in Krankenhäusern, Fabriken und weitläufigen Industriegeländen schon

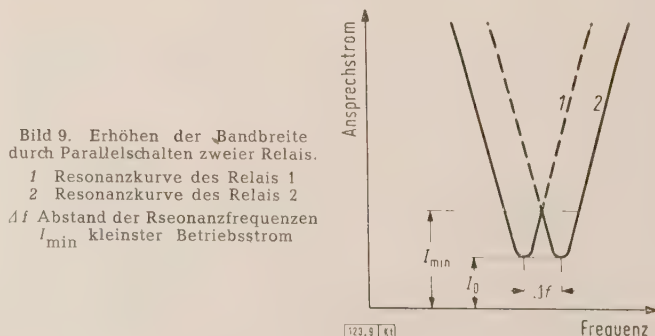


Bild 9. Erhöhen der Bandbreite durch Parallelschalten zweier Relais.

- 1 Resonanzkurve des Relais 1
 - 2 Resonanzkurve des Relais 2
- Δf Abstand der Resonanzfrequenzen
 I_{\min} kleinster Betriebsstrom

vielfach verwendet werden, sind geringes Gewicht und kleiner Platzbedarf besonders wichtig.

Ein weites Anwendungsgebiet sind Rundsteueranlagen, in denen z. B. Straßenbeleuchtungen geschaltet und Kommandos für Zählerumschaltung für Tag- und Nachttarif ausgewertet werden, ferner Schaltungen für Kran- und Maschinensteuerungen. Möglicherweise werden Resonanzrelais Eingang finden in Anlagen für Meßwertübertragungen, wie sie z. B. in der Zugfernüberwachung zur Weitergabe des Zugfahrorts an eine Zentrale üblich sind.

In den Fällen, in denen eine besonders große Betriebsbandbreite gefordert wird, ist es zweckmäßig, zwei Relais kontaktseitig parallel zu schalten. Dabei muß der Abstand Δf der Resonanzfrequenzen so gewählt werden, daß die geforderte Bandbreite bei noch zulässiger Einsattelung der resultierenden Kurve erreicht wird (Bild 9). Im Grenzfall kann durch diese Maßnahme bei gleichbleibendem Verhältnis I_{\min}/I_0 die Bandbreite verdoppelt werden. Eine Einbuße an Selektivität tritt dabei praktisch nicht auf. Werden in einer Anlage sehr viele Ruffrequenzen benötigt, so werden am wirtschaftlichsten die Betriebsfrequenzen von einer stabilen Grundfrequenz abgeleitet. Benötigt man nur wenige Betriebsfrequenzen, so kann man sich die große Frequenzkonstanz der Resonanzrelais zunutze machen und diese als frequenzbestimmende Glieder einer Schwingschaltung verwenden. Der Kontaktsatz wird dann durch eine Spule ersetzt. Wegen der geringen Abmessungen des Relais kann man solche Schaltungen sehr klein aufbauen.

Zusammenfassung

Resonanzrelais sind wegen der hohen Güte ihrer mechanischen Schwinger beim Trennen und Auswerten von Signalen unter 1000 Hz einfachen elektrischen Filterschaltungen überlegen. Einzungenrelais lassen sich leichter abstimmen und in den Magnetkreisen besser schließen als Zweizungenrelais. Bei einstellbarer Dämpfung kann man auf konstante absolute Bandbreite abgleichen. Der Aufbau und die physikalischen Eigenschaften eines hermetisch dichten Einzungenrelais, das als magnetisch geschirmtes Bauelement für die moderne Kleinbautechnik besonders geeignet ist, werden beschrieben. In einigen Beispielen werden Wege für die Anwendung solcher Relais angegeben.

Schrifttum

- [1] Reche, K.: Relais. Erweiterter Sonderdruck aus dem Taschenbuch für Elektrotechniker. Siemens & Halske AG. Druckschrift Nr. SH. 84 08 844. ZL, 1950.
- [2] Darr, Chr.: Miniaturrelais. Nachrichtentechn. Fachber. Bd. 6 (1957) S. II/173–II/176.
- [3] Keller, A. C., u. Bostwick, L. G.: Vibrating reed selectors for mobile radio systems. Trans. Americ. Inst. electr. Engng. Bd. 68 (1949) S. 383 bis 386.
- [4] Ott, F.: Resonanzrelais Hasler. Hasler Mitt. Jg. 1953, S. 6.
- [5] Bopp, H.: Frequenzrelais und einige Möglichkeiten ihrer Anwendung. ETZ-A Bd. 78 (1957) S. 768–771.
- [6] Fründt, H. J.: Ein neues Vollcode-Selektivrufsystem mit Resonanzrelais für Funksprechnetze mit großer Teilnehmerzahl. Telefunken-Ztg. Bd. 28 (1955) S. 85–94.
- [7] Eckert, S.: Der Landstraßenfunk. Funkschau Bd. 28 (1956) S. 1031.
- [8] Kronjäger, W.: Netzgestaltung, Technik und Betrieb des öffentlichen UKW-Land- und Seefunkdienstes. Fernmelde-Ingenieur Bd. 13 (1959) H. 2, S. 1–27.

Verhältnisgrößen

Von August Hochrainer, Kassel*)

DK 51 : 530.1

Seitdem man physikalische Zusammenhänge mit Hilfe von Größengleichungen darstellt, machen immer jene Größen Schwierigkeiten, die sich scheinbar dem Größenkalkül nicht ohne weiteres einfügen lassen, weil sie oft wie reine Zahlen erscheinen und keine Einheit aufweisen. Im folgenden soll gezeigt werden, wie sich diese Größen in den Rahmen der allgemeinen Größenrechnung einfügen.

Grundbegriffe, Größe, Zahlenwert, Einheit

In vielen Fällen verhalten sich als reine Zahlen erscheinende Größen trotzdem wie Größen, und man sprach daher von dimensionslosen Größen oder von Größen der Dimension 1 oder der Dimension 0. Auch die Bezeichnung „Einsgrößen“ ist vorgeschlagen worden. Sie sollen jedoch im folgenden „Verhältnisgrößen“ genannt werden, weil sie sich alle auf Verhältnisse von zwei gleichartigen Größen zurückführen lassen. Um zu zeigen, wie sich diese Größen in der allgemeinen Größenrechnung behandeln lassen, ist es notwendig, einige Grundbegriffe und Tatsachen der Größenrechnung zu erörtern, über die heute im allgemeinen Einigkeit besteht.

Man ist geneigt, mit der Frage zu beginnen, was eine physikalische Größe ist. Bei dem Versuch, die physikalische Größe zu definieren, kommt man jedoch in schwierige erkenntnistheoretische Fragen, in Diskussionen darüber, was man unter Messen versteht, und vor allem zu der keineswegs geklärten Frage, ob eine Größe ein künstliches aus Zahlenwert und Einheit zusammengefügtes Gebilde ist oder ein der menschlichen Erkenntnis eigener, nicht weiter erklärbarer Grundbegriff, der nachträglich in Zahlenwert und Einheit gespalten wird. Für die nachstehenden Untersuchungen sind diese Fragen aber nicht von Belang, und man kann sich mit einer sehr einfachen Kennzeichnung der Größe begnügen, indem man erklärt: Eine Größe ist alles, was sich durch Angabe einer Zahl und einer Einheit darstellen läßt, vorausgesetzt, daß die Größe der Forderung nach Invarianz

gegenüber einem Wechsel der Einheit genügt. Das bedeutet, daß sich die Zahl, für die man in diesem Zusammenhang Zahlenwert oder manchmal auch Maßzahl sagt, auf das n -fache ändert, wenn man dieselbe Größe mit einer Einheit mißt, die der n -te Teil der zuerst angewendeten Einheit ist. Man sagt, der Zahlenwert ist umgekehrt proportional der Einheit. Dabei versteht man unter einer Einheit eine festgelegte konstante Bezugsgröße. Stellt man die Größe formal als Produkt aus Zahlenwert und Einheit dar, so bleibt dieses Produkt konstant bei einem Wechsel der Einheit. Man schreibt also Zahlenwert und Einheit nebeneinander, wie die Faktoren eines Produktes, und behandelt die Größe auch als Produkt, also

$$\text{Größe} = \text{Zahlenwert} \cdot \text{Einheit.}$$

Man kann die einzelnen Faktoren dann nach den Regeln der Algebra behandeln.

Es sei darauf hingewiesen, daß das alles nicht selbstverständlich ist. Man kann auch Größen finden, die der Forderung der Invarianz nicht genügen, es ist aber so unpraktisch, mit solchen Größen zu rechnen, daß man sie möglichst durch andere ersetzt, welche die Bedingung der Invarianz erfüllen. Es ist auch nicht alles ein Produkt, was man durch Nebeneinanderschreiben einer Zahl und einer Kennzeichnung angibt, so z. B. ist

$$5 \text{ h} = 300 \text{ min} = 18\,000 \text{ s}$$

eine Größe, aber nicht 5 Uhr, ebenso wenig stellt 3° Engler für die Viskosität eine Größe dar. Stellt man nun irgendwelche Zusammenhänge nur durch Beziehungen zwischen Größen dar, so gelten diese für jede Wahl der Einheiten,

*) Prof. Dr. techn. A. Hochrainer ist Technischer Direktor der Hochspannungsschaltgeräte-Fabrik und des Hochspannungsinstituts der AEG in Kassel.

wenn für die Größe jedesmal das Produkt aus Zahlenwert und Einheit gesetzt wird. Darin liegt der Vorteil des Rechnens mit Größengleichungen, und man ist dabei zunächst jeder Diskussion über die anzuwendenden Einheiten enthoben.

Gleichartige, abgeleitete und gleichdimensionale Größen

Ein wichtiger Begriff ist nun der der Gleichartigkeit von Größen. Als gleichartig bezeichnet man Größen, die der Art nach gleiche und gegebenenfalls nur in ihrem Ausmaß verschiedene Eigenschaften von physikalischen Objekten oder Vorgängen beschreiben. Die Gleichartigkeit von Größen kann man leicht dadurch feststellen, daß man versucht, aus ihnen Summen oder Differenzen zu bilden. Hat diese Summe oder Differenz einen physikalischen Sinn, oder ist wenigstens ein solcher denkbar, dann sind die Größen gleichartig, sonst aber verschiedenartig. Die Länge und die Breite eines Rechtecks sind gleichartige Größen, denn man kann sie addieren, um den Umfang des Rechtecks zu berechnen. Länge und Fläche sind aber verschiedenartig, denn weder die Summe noch die Differenz einer Länge und einer Fläche hat einen physikalischen Sinn. Aber auch Arbeit und Drehmoment sind verschiedenartig, obwohl sie beide als Produkt aus einer Kraft und einer Länge gebildet werden. Selbst ein Scheitelwert und ein Effektivwert einer Spannung sind genau genommen verschiedenartig, denn ihre Summe gibt kaum einen physikalischen Sinn. Man kann diese Unterscheidungen sehr weit treiben, es bleibt aber die Frage, wie weit das zweckmäßig und notwendig ist.

Es ist bekannt, daß man die meisten Größen auf andere zurückführen kann. Man bedient sich dazu bestimmter, vereinbarter physikalischer Prozesse oder Zusammenhänge, die so ausgewählt sind, daß die zu gewinnende Größe einem Potenzprodukt mit ganzzahligen Exponenten der Ausgangsgrößen proportional ist. In der Geometrie stellt man z. B. fest, daß die Flächen immer dem Produkt zweier Längen proportional sind, bei einem Rechteck z. B. dem Produkt aus Länge und Breite, bei regelmäßigen Figuren wie dem gleichseitigen Dreieck, dem Quadrat, schließlich beim Kreis, dem Quadrat einer ausgezeichneten Länge. Man definiert nun die Fläche dadurch, daß man in einer dieser Beziehungen den Proportionalitätsfaktor gleich 1 setzt und die so gewonnene Beziehung als Definition der Fläche benutzt. Üblicherweise tut man das bei dem Quadrat, es muß aber festgestellt werden, daß dazu keine Notwendigkeit besteht. Man hätte ebensogut das gleichseitige Dreieck oder den Kreis wählen können. Die Formeln würden dann etwas anders aussehen, aber man würde zu keinen Widersprüchen kommen.

In ähnlicher Weise kann man nun die meisten Größen auf wenige Ausgangs- und Basisgrößen zurückführen und nennt dann die anderen Größen abgeleitete Größen. Wesentlich ist dabei, daß diese abgeleiteten Größen nicht durch bloß formale Kombinationen der Ausgangsgrößen entstehen können, sondern daß dabei ein ganz bestimmter, genau definierter Prozeß zugrunde gelegt werden muß. Es wird dies sehr oft vergessen, und es ist dann nicht zu verwundern, wenn man in Schwierigkeiten kommt. Man darf nicht übersehen, daß man, um bei dem obigen Beispiel zu bleiben, zwei Längen nicht miteinander multiplizieren kann. Es ist eine sehr zweckmäßige Festsetzung, daß man die Fläche eines Rechtecks als das Produkt der Längen der beiden Seiten des Rechtecks betrachtet, aber es ist dies weder selbstverständlich noch auch irgendwie beweisbar. Alles, was man beweisen kann, ist, daß der Zahlenwert der Fläche dem Produkt der Zahlenwerte der Längen der beiden Seiten proportional ist. Beim Quadrat gilt das für das Quadrat des Zahlenwertes der Seiten des Quadrates. Dies gilt aber auch für das gleichseitige Dreieck und auch für den Kreis. In welchem Fall der Proportionalitätsfaktor gleich 1 gesetzt wird, ist ganz unserer Willkür überlassen. Natürlich hat man sich in solchen einfachen Fällen schon vor sehr langer Zeit geeinigt, und daher vergißt man leicht, daß man es auch anders machen könnte. Es gibt aber auch Fälle, bei

denen man den Unterschied deutlich erkennt, wenn man nämlich zur Beschreibung eines Vorganges zwei verschieden abgeleitete Größen benutzt. Ein typisches Beispiel ist die Frequenz und die Kreisfrequenz. In dem einen Fall nimmt man die Zahl der Schwingungen je Sekunde, in dem anderen Fall die Zahl der Schwingungen je 2π Sekunden. Man hat also zwei „Größen“ zur Beschreibung desselben Vorganges, die sich um den Faktor 2π unterscheiden.

In diesem Fall sind die aus denselben Ausgangsgrößen gewonnenen abgeleiteten Größen noch gleichartig, denn man kann sie gegebenenfalls unter Hinzufügung eines reinen Zahlenfaktors noch sinnvoll addieren oder subtrahieren. Sehr häufig sind aber die Fälle, daß die auf verschiedenen Wegen abgeleiteten Größen verschiedenartig sind. Das klassische Beispiel hierfür ist Arbeit und Drehmoment. Beide sind dem Produkt aus Kraft und Länge proportional und werden als solche Produkte definiert, sie sind aber verschiedenartig, weil die zugrunde gelegten physikalischen Prozesse verschiedenartig sind. Hier läßt sich der Unterschied auf die Verschiedenheit des skalaren und des vektoriellen Produktes zweier Vektoren zurückführen, und der gleiche Unterschied wirkt sich auch beim Volumen und beim Widerstandsmoment einer Fläche aus. Beide entsprechen der dritten Potenz einer Länge, sie sind aber doch verschiedenartig. Ein anderes Beispiel sind der Leitwert eines elektrischen Leiters und die Gittersteilheit einer Elektronenröhre, die beide als Quotient aus Strom durch Spannung entstehen.

Schreibt man nun die entsprechenden Gleichungen auf, so erhält man

für die Arbeit	$A = F l$,
für das Drehmoment	$M = F l$,
für das Volumen	$V = l^3$,
für das Widerstandsmoment	$W = l^3$,
für den Leitwert	$G = I/U$,
für die Gittersteilheit	$S = I/U$.

In diesen Gleichungen verschwindet also der Unterschied, der in den vereinbarten physikalischen Prozessen liegt. Da man oft das rechts in den Gleichungen stehende Potenzprodukt als die Dimension der links stehenden Größe bezeichnet, so nennt man Größen, die sich auf das gleiche Potenzprodukt der Ausgangsgrößen zurückführen lassen, gleichdimensional.

Verhältnisgrößen als Einheitselemente im Sinne der Gruppentheorie

Die Bildung der abgeleiteten Größen aus den Ausgangsgrößen bezeichnet man auch als Verknüpfung der Ausgangsgrößen in Anlehnung an die Verknüpfung von Elementen einer Gruppe in der Gruppentheorie. Unter einer Gruppe versteht man in der Mathematik eine Menge von Elementen, zwischen denen eine bestimmte Art der Verknüpfung so vereinbart ist, daß durch die Verknüpfung zweier Elemente der Gruppe wieder ein Element der Gruppe entsteht. Die Größen weisen nun eine Ähnlichkeit mit den Elementen einer Gruppe im mathematischen Sinn auf, wenigstens solange man sich auf die rein formale Verknüpfung in der Form der Potenzprodukte beschränkt. Man kann aber nicht sagen, daß die Größen mit einer mathematischen Gruppe identisch seien, denn die formale Verknüpfung ist nicht mehr eindeutig, wenn man, wie bei der Bildung der abgeleiteten Größen notwendig, den physikalischen Prozeß mit heranziehen muß. Außerdem kann man nicht behaupten, daß die Verknüpfung zweier beliebiger Größen unbedingt immer eine neue Größe ergeben muß. Es ist also zweifelhaft, ob — wie in der Gruppentheorie gefordert — die Verknüpfung unbeschränkt durchführbar ist. Man muß daher vorsichtig sein, wenn man Folgerungen aus der Gruppentheorie auf die Größen anwenden will. Wohl kann man auf Grund der Ähnlichkeit mit der Gruppentheorie zu dort

bestehenden Beziehungen ähnliche in der Größenrechnung suchen. So ist bekannt, daß in jeder Gruppe ein sogenanntes Einheitsselement vorhanden ist. Das ist ein Element, das, mit einem beliebigen anderen verknüpft, dieses ungeändert läßt, so daß

$$A E = A$$

gilt, wenn A ein beliebiges und E das Einheitsselement ist. Mit Hilfe dieses Einheitsselementes läßt sich zu jedem Element ein reziprokes bestimmen, so daß $A A^{-1} = E$ gilt. Man kann daher untersuchen, ob unter den Potenzprodukten der Größen auch ein solches Einheitsselement zu finden ist. Geht man z. B. von der Länge l aus, so findet man eine Größe, der das Potenzprodukt $l l^{-1}$ oder l/l entspricht. Ebenso kann man aus der Zeit t ein Potenzprodukt $t t^{-1} = t/t$ bilden und in ähnlicher Weise mit jeder Größe verfahren. Solchen Potenzprodukten, oder besser gesagt Quotienten, werden daher alle jene Größen entsprechen, die als Verhältnis zweier gleichartiger Größen auftreten. Derartige Größen gibt es sehr viele. Einfache Beispiele dafür sind der Winkel als Verhältnis der Länge des Bogens zur Länge des Radius oder der Wirkungsgrad als Verhältnis der abgegebenen zur zugeführten Leistung, aber auch das Produkt aus Zeit und Kreisfrequenz. Drückt man bei der zahlenmäßigen Angabe der Größen beide Größen des Verhältnisses in der gleichen Einheit aus, also z. B.

$$\eta = \frac{P_a}{P_z} = \frac{55 \text{ kW}}{100 \text{ kW}} = 0,55$$

so verschwindet formal die Einheit in dem Ergebnis. Es ist also in dem Ergebnis nicht zu erkennen, welches Potenzprodukt von Einheiten oder der Ausgangsgrößen bei der Bildung des Verhältnisses angewendet wurde, und deshalb nannte man solche Größen bisher oft dimensionslose Größen oder auch Größen der Dimension 1, wenn man das Verhältnis der gleichen Einheiten durch 1 ersetzt. Da diese Ausdrucksweisen aber oft zu Irrtümern führten, so soll der Ausdruck „Verhältnisgrößen“ verwendet werden. Da alle diese Größen wegen $l/l = t/t = \dots = 1$ das Potenzprodukt 1 aufweisen, sind sie alle gleichdimensional, aber deshalb keineswegs gleichartig, denn auch ihrer Bildung liegt jeweils ein bestimmter physikalischer Prozeß zugrunde.

Gibt man eine Verhältnisgröße zahlenmäßig an, so erscheint nur ihr Zahlenwert, wenn man wie in dem oben genannten Beispiel die Einheit kürzt. Daß es sich aber trotzdem nicht um einen Zahlenwert im üblichen Sinn handelt, erkennt man daraus, daß die Verhältnisgröße ungeändert bleibt, wenn man die bei ihrer Bestimmung verwendeten Einheiten der Ausgangsgrößen ändert. Man würde also z. B. denselben Wirkungsgrad erhalten, wenn man die beiden Leistungen in PS statt in kW angeben würde.

Diese Invarianz der Verhältnisgrößen läßt sich leicht nachprüfen, wenn man die beiden Ausgangsgrößen in der gleichen Einheit angibt. Sie gilt aber auch dann, wenn dies nicht der Fall ist. Ein typisches Beispiel ist der Gang einer Uhr, d. h. die Abweichung der Uhr in einem bestimmten Zeitraum. Hat eine Uhr z. B. einen Gang von 5 s/Tag, so hat sie den Gang von 35 s/Woche. Die Einheit hat sich auf $1/7$ der ursprünglichen verkleinert, und dementsprechend muß der Zahlenwert das 7-fache werden.

Aus der Herleitung der Verhältnisgrößen als Einheitsselemente der Größen, analog zu dem Einheitsselement der Gruppentheorie, geht auch hervor, daß es sich bei den Verhältnisgrößen nicht um einen Übergang zwischen Größen und reinen Zahlen handelt, wie manchmal vermutet wird. Würde es einen Bereich der Größen und einen Bereich der reinen Zahlen geben, die an irgendeiner Stelle aneinander grenzen, und käme man durch irgendeinen Prozeß mit Größen an diese Grenzlinie heran, so müßte man bei der Fortsetzung des Prozesses ganz in dem Bereich der reinen Zahlen

bleiben. Das trifft aber bei den Verhältnisgrößen nicht zu, wenn man sich die Folge der Potenzen einer Größe ansieht, z. B.

$$\dots l^3, l^2, l^1, l^0 = 1, l^{-1}, l^{-2}, l^{-3}.$$

Man bleibt also immer im Bereich der Größen.

Auch die sogenannten Zahlenfaktoren mathematischen Ursprungs in den Größengleichungen können alle als Verhältnisgrößen aufgefaßt werden. So ist z. B. π als das Verhältnis zweier Flächen, nämlich der Kreisfläche zu der des Quadrates definiert. Der Faktor $1/2$ in der Gleichung $1/2 \cdot m v^2$ für die Energie ist nichts anderes als das Verhältnis der Fläche des Dreiecks zu der des Rechtecks.

Die Einheiten der Verhältnisgrößen

Wenn die Verhältnisgröße eine Größe ist, so muß sie natürlich auch eine Einheit haben. Ist wie in den meisten Fällen die Gleichung zur Berechnung der Verhältnisgröße zugleich ihre Definitionsgleichung mit dem Proportionalitätsfaktor 1, dann ist die Einheit der Verhältnisgröße gleich der Einheit der Ausgangsgröße, geteilt durch diese Einheit selbst, also z. B. kW/kW oder m/m. In kritischen Fällen empfiehlt es sich auch, der Verhältnisgröße diese Einheit hinzuzufügen, wobei man noch der Einfachheit halber (kW)⁰ oder m⁰ schreiben kann. In vielen Fällen kann man aber dafür 1 setzen und diese Einheit beim Aufschreiben weglassen. Das ist besonders dann zulässig, wenn aus dem Zeichen für die Größe bereits hervorgeht, um welche Größe es sich handelt, also z. B.

$$\eta = 0,95,$$

wobei jedermann weiß, daß das Zeichen η den Wirkungsgrad bedeutet. Als Größe unterliegt die Verhältnisgröße auch der Forderung nach Invarianz. Wenn man eine andere Einheit anwendet, die ein Vielfaches oder ein Bruchteil der ursprünglichen Einheit ist, so muß sich der Zahlenwert dazu reziprok ändern. So wählt man beim Wirkungsgrad sehr häufig die Einheit kW/100 kW, und es wird im Beispiel

$$\eta = 95 \frac{\text{kW}}{100 \text{ kW}}$$

Kürzt man in kW/100 kW mit kW und setzt $1/100 = 1\%$, so erhält man

$$\eta = 95\%$$

Prozent ist eben nichts anderes als ein Teil der Einheit 1.

Einen Winkel muß man, streng genommen, in m/m = m⁰ messen. Verwendet man die Einheit Grad, so ist zu beachten, daß

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \cdot \text{m}^0$$

ist, so daß z. B.

$$\alpha = 2 \text{ m}^0 = \frac{2 \cdot 180^\circ}{\pi} = 104^\circ \dots$$

gilt.

Während es in vielen Fällen praktisch und bequem ist, die nullte Potenz der Einheit gleich 1 zu setzen und sie beim Aufschreiben wegzulassen, so ist dies keineswegs mehr zulässig, wenn ein Vielfaches oder ein Teil dieser Einheit verwendet wird. Es gibt aber auch sonst viele Fälle, in denen das Weglassen der Einheit 1 zu Mißverständnissen führen kann. In allen solchen Fällen kann man sich durch Angabe der nullten Potenz helfen, in anderen Fällen hat man sich dadurch geholfen, daß man für diese Potenz der Ausgangseinheiten einen eigenen Namen einführt, z. B. beim Winkel die Bezeichnung Radiant, abgekürzt „rad“.

Das Einheitsselement der Gruppentheorie hat die bemerkenswerte Eigenschaft, daß jede beliebige Potenz davon wieder gleich dem Einheitsselement ist, also

$$E^n = E.$$

Man nennt das Einheitsselement daher auch idempotent. Ähnliches gilt nun für die Potenzen der Verhältnisgrößen.

Denn es ist

$$\left(\frac{l}{l}\right)^n = \frac{l}{l}.$$

Man kann daher sagen, daß die Potenzprodukte der Verhältnisgrößen oder, wenn man das Potenzprodukt als Dimension bezeichnet, daß die Dimension der Verhältnisgrößen idempotent ist. Das gilt natürlich nicht für jede Einheit einer Verhältnisgröße, denn es ist wohl kW/kW idempotent, aber nicht kW/100 kW. So ist der Radiant idempotent, aber nicht der Grad.

Wegen der idempotenten Dimension der Verhältnisgrößen sind alle von einer solchen Größe gebildeten Potenzen gleichdimensional und in vielen Fällen sogar gleichartig mit der Verhältnisgröße selbst. Man kann daher zur Verhältnisgröße ihre Potenzen, gegebenenfalls auch Vielfache oder Teile dieser Potenzen, addieren. Das gibt die Berechtigung, Potenzreihen der Verhältnisgrößen zu bilden und damit Funktionen durch solche Potenzreihen darzustellen. Das typische Beispiel hierfür sind die Winkelfunktionen. Es ist z. B.

$$\sin x = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots$$

Man erkennt, daß man nur von Verhältnisgrößen solche Funktionen bilden kann. In ähnlicher Weise kommt man zu Logarithmen auf Grund der Formel

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots,$$

wobei die gegebene Verhältnisgröße

$$\frac{A_1}{A_2} = 1 + x$$

ist und daher für x der Ausdruck $\frac{A_1 - A_2}{A_2}$ zu setzen ist.

Man muß dabei beachten, daß auf der rechten Seite immer die Größe und nicht nur der Zahlenwert einzusetzen ist. Ist die Verhältnisgröße in der Einheit 1 gegeben, dann braucht man sich um diese Einheit und ihre Potenz nicht weiter zu kümmern. Drückt man die Größe aber in einer anderen Einheit aus, so muß deren Potenz berücksichtigt werden. Man stellt daher für solche Berechnungen die Verhältnisgrößen fast immer in der Einheit 1 dar.

Gleichartige und gleichdimensionale Verhältnisgrößen

Genau wie bei allen abgeleiteten Größen ist auch bei den Verhältnisgrößen die bloße formale Verknüpfung einer Größe mit ihrer reziproken Größe keineswegs eindeutig. Gerade bei den Verhältnisgrößen gibt es, selbst wenn man die Einheit als Verhältnis zweier gleicher Einheiten schreibt, noch sehr viele gleichdimensionale, aber nicht gleichartige Größen. So gilt für den Winkel l/l , aber l/l gilt auch für die Dehnung. Der elektrische Winkel ωt hat das Potenzprodukt t/t , aber auch der Gang einer Uhr — d. h. die Abweichung einer Uhr in einem bestimmten Zeitraum — hat dasselbe Potenzprodukt. Man muß daher gerade bei den Verhältnisgrößen die Art des ihnen zugrunde liegenden physikalischen Zusammenhanges besonders beachten. Glücklicherweise schreibt man kaum eine solche Größe ganz allein hin, sondern immer in irgendeinem Zusammenhang, und dieser gibt dann schon den richtigen Hinweis.

Bei den Verhältnisgrößen kann aber auch das Entgegengesetzte auftreten, nämlich daß sie scheinbar verschiedenartig sind, weil man ja formal solche Größen immer mit dem Verhältnis zweier gleicher Einheiten multiplizieren oder ein solches Verhältnis durch 1 ersetzen kann. Man kommt dann scheinbar zu merkwürdigen Widersprüchen. Ein typischer Fall ist das Übersetzungsverhältnis eines Transformators. Bei einem idealen Transformator gilt, wenn der Index 1 die Primärseite und der Index 2 die Sekundärseite bedeutet,

$$U_1 I_1 = U_2 I_2.$$

Daraus folgt

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

Beides sind Verhältnisgrößen. Für die linke Seite ergibt sich formal die Einheit V/V und für die rechte Seite A/A, also V/V = A/A. Wenn man kürzt, ist natürlich alles in Ordnung, aber man hat doch Bedenken, die beiden Einheiten als gleichartig anzusehen, weil sie doch offenbar verschiedenen Ursprunges sind. Da nun das Verhältnis der Spannungen gleich dem Verhältnis der Windungszahlen ist, so kann man die Gleichung noch erweitern auf

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{w_1}{w_2}$$

und hat dann die Beziehung

$$\frac{V}{V} = \frac{A}{A} = \frac{\text{Windung}}{\text{Windung}},$$

also scheinbar drei verschiedenartige Einheiten für dieselbe Größe, nämlich das Übersetzungsverhältnis. Hier ist nun in den verschiedenen Einheiten noch das Meßverfahren enthalten. Man kann nämlich tatsächlich bei einem solchen Transformator das Übersetzungsverhältnis auf eine ganze Reihe von verschiedenen Arten messen, nämlich indem man die Spannungen vergleicht oder indem man die Ströme vergleicht oder die Windungszahlen vergleicht. Man muß aber, um eine klare Ordnung zu erhalten, eines dieser Meßverfahren zur Definition des Übersetzungsverhältnisses verwenden und die anderen als indirekte Messungen betrachten. Es ist dies so ähnlich, wie wenn man eine Masse mit Hilfe einer Federwaage bestimmt. Dann mißt man tatsächlich Kräfte, man weiß aber, daß diese Kräfte unter bestimmten Bedingungen der Masse proportional sind, und gibt daher das Resultat nicht mit der (tatsächlich gemessenen) Einheit der Kraft an, sondern mit der angestrebten Einheit der Masse.

Im Fall des Übersetzungsverhältnisses des Transformators muß man sich also zunächst einmal darüber einigen, wie man das Übersetzungsverhältnis definieren will. Wenn man es als Spannungsverhältnis definiert, dann kann man es wohl durch Messung der Ströme bestimmen, muß aber zu dem so gewonnenen Zahlenwert als Einheit, wenn man überhaupt eine setzen will, V/V dazu schreiben, ebenso wie man zu dem an der Federwaage abgelesenen Zahlenwert kg und nicht kp hinzufügt.

Etwas Ähnliches liegt vor, wenn man von der Gleichung einer Wechselspannung

$$u = \hat{U} \sin \omega t$$

ausgeht. Hier kann man formal richtig

$$\frac{u}{\hat{U}} = \sin \omega t$$

schreiben und kommt wegen des oben über die trigonometrischen Funktionen von Verhältnisgrößen Gesagte zu der Gleichung

$$\frac{V}{V} = \frac{t}{t}.$$

Auch hier geht das Meßverfahren in diese Einheiten ein. Die Größe der Sinusfunktion kann man ja ebenso gut aus der Potenzreihe der Verhältnisgröße ωt wie auch durch die Messung des Verhältnisses der Momentanwerte zum Scheitelwert einer Wechselspannung bestimmen. Man könnte natürlich auch irgendeine beliebige andere sinusförmig veränderliche Größe nehmen und damit die obige Gleichung beliebig erweitern. Hier ist es ziemlich klar, daß man die Sinusfunktion als Größe für zeitlich veränderliche Größen

durch das Zeitverhältnis definieren wird. Alle anderen Messungen sind indirekte Verfahren, und daher ist das Resultat, wenn man schon eine Einheit angeben will, immer mit der Einheit t/t zu nennen.

Zum Glück spielen solche Feinheiten in der Praxis keine sehr große Rolle, weil man eben einfach die Einheiten kürzt und die Verhältnisgrößen mit der Einheit 1 darstellt. Das Interessante an solchen Untersuchungen ist eben nur, daß man damit zeigen kann, daß sich die Verhältnisgrößen ganz wie sonstige physikalische Größen verhalten, wenn man nur die Regeln beachtet, die man bei den sonstigen Größen als fast selbstverständlich betrachtet.

Zusammenfassung

Das wesentliche Kennzeichen der physikalischen Größen ist die Invarianz gegenüber einem Wechsel der Einheit. Die

meisten Größen lassen sich durch bestimmte physikalische Prozesse auf wenige Ausgangsgrößen in der Form von Potenzprodukten zurückführen. Gleichartigen Größen liegt der gleiche Prozeß zugrunde, gleichdimensionalen nur das gleiche Potenzprodukt. Die Verknüpfung von Größen zur Bildung neuer Größen ergibt gewisse Ähnlichkeiten mit den Elementen einer Gruppe im mathematischen Sinn. Dem Einheitselement der Gruppe entsprechen die als Verhältnis von gleichartigen Größen gebildeten Verhältnisgrößen, die man bisher als dimensionslose Größen bezeichnet hat. Sie sind keine Zahlen, sondern echte Größen, die der Forderung nach Invarianz genügen. Die Einheit der Verhältnisgrößen ist das Verhältnis zweier gleichartiger, oft sogar gleich großer Einheiten. Durch formales Kürzen oder Ersetzen dieser Einheit durch 1 kann man zu scheinbaren Widersprüchen kommen, die sich jedoch leicht aufklären lassen.

Untersuchungen der elektrischen Ungleichheit, die in einem Freileitungsnetz durch nicht verdrehte Leiter erzeugt wird

DK 621.315.1.092

Es ist üblich, Freileitungen zu verdrehen, damit jede Ungleichheit der elektrischen Kennwerte und damit auch jede Ungleichheit der Spannungen und Ströme vermieden wird¹⁾. Elektrische Ungleichheit bedeutet das Auftreten eines Gegen- und Nullsystems in Spannung und Strom. Durch die Verdrehung der Leiter entstehen zusätzliche Kosten, insbesondere dadurch, daß der Phasenwechsel nur auf Masten in Sonderausführung stattfinden kann. In der Arbeit wird untersucht, ob diese Technik voll gerechtfertigt ist oder ob man nicht eine gewisse elektrische Ungleichheit zulassen und dadurch Verdrehungen einsparen kann.

Die hauptsächlichen Einflußgrößen auf die elektrische Ungleichheit in einem Netz sind: die Zahl der Phasenwechsel der Leiter jeder Leitung, die Zahl dieser Leitungen, ihre Länge, die auf ihnen übertragen wird und die Kurzschlußleistung der betrachteten Netzstation. Die Untersuchung wurde besonders für das französische 380-kV-Netz für eine Kuppelstelle mit dem 225-kV-Netz durchgeführt.

Folgende Annahmen wurden getroffen: übertragene Wirkleistung des 380-kV-Netzes 0 bis 2500 MW, Zahl der 380-kV-Einfachleitungen 1 bis 5, Kupplung 380/225 kV über Spartransformatoren und Kurzschlußleistung des 225-kV-Netzes an der Kuppelstelle 1000 bis 15 000 MVA. Für die 380-kV-Einfachleitung wurden Bündelleiter $2 \times 592 \text{ mm}^2$ Stahl-Aluminium mit waagerechter Leiteranordnung und eine Leitungslänge von 0 bis 1500 km mit 0 bis 8 Phasenwechseln in gleichen Abständen angenommen.

Die Untersuchung einer einzelnen 380-kV-Leitung von 500 km Länge, die 500 MW überträgt, hat folgendes ergeben, wobei die relativen Größen auf die jeweiligen Nennwerte bezogen sind. Die unverdrillte Leitung bewirkt ein Gegensystem in der Spannung von 1 % und im Strom von 4,3 % und ein Nullsystem in der Spannung von 0,3 % und im Strom von 4 %. Wird die Leitung verdreht, so ist der Einfluß der Zahl der Phasenwechsel für Gegen- und Nullsystem verschieden. Das Gegensystem wird durch einen einzigen Phasenwechsel in Leitungsmitte stark herabgesetzt, und zwar in der Spannung auf 0,3 % und im Strom auf 1 %. Weitere Phasenwechsel bringen nur noch eine geringfügige Verringerung. Das Nullsystem dagegen wird erst mit einer vollständigen Verdrehung, d. h. mit drei Phasenwechseln stark herabgesetzt, und zwar in der Spannung auf 0,1 % und im Strom auf 0,5 %. Weitere Phasenwechsel bringen nur eine geringe Verbesserung.

Mit steigender Leitungslänge wächst auch die elektrische Ungleichheit. Unter sonst gleichen Verhältnissen erzeugt die unverdrillte Leitung von 1000 km Länge ein Gegensystem in der Spannung von 2 % und im Strom von 7 % sowie ein Nullsystem in der Spannung von 0,4 % und im

Strom von 6 %. Wiederum durch einen einzigen Phasenwechsel in Leitungsmitte wird das Gegensystem und durch eine vollständige Verdrehung das Nullsystem stark herabgesetzt.

Der Einfluß der in der Station anstehenden Kurzschlußleistung des 225-kV-Netzes ist verhältnismäßig gering. Der Strom des Gegensystems steigt mit der Kurzschlußleistung geringfügig an. Die Spannung des Gegensystems ist bei sehr kleiner Kurzschlußleistung verhältnismäßig hoch, sinkt dann sehr rasch, z. B. bei 2500 MVA auf rd. 1 % und dann nur noch langsam ab.

Der Einfluß des Mastkopfbildes ist ebenfalls gering. Bezogen auf die waagerechte Leiteranordnung ergibt die senkrechte Leiteranordnung keine Änderung der Ungleichheit, die Hebung des mittleren Leiters verringert den Strom und die Spannung des Gegensystems nur um etwa 20 %, die Dreieckanordnung dagegen halbiert sowohl die Werte des Gegen- als auch des Nullsystems.

Für die Schlußfolgerungen aus den Untersuchungen ist entscheidend, welche obere Grenze für die Anteile des Gegen- und Nullsystems in Strom und Spannung für den Netzbetrieb als zulässig angesehen wird. Das Gegensystem wirkt hauptsächlich in zweierlei Hinsicht störend. Einerseits erhöhen die Gegenströme die Wirkverluste in den Generatoren und Leitungen, andererseits vermindert die Gegenspannung die Übertragungsfähigkeit des Netzes. Praktisch bilden die Ströme die Grenze für das zulässige Gegensystem. Die Verfasser nehmen an, daß die Maschinen, die unmittelbar auf das 380-kV-Netz arbeiten, im Dauerbetrieb einen Gegenstrom von 6 bis 8 % des Nennstromes aushalten. Das entspricht einer Gegenspannung an ihren Klemmen von etwa 2 %. Das Nullsystem äußert sich durch einen Strom längs der 380-kV-Leitungen, der sich über die Sternpunkte der geerdeten Transformatoren schließt. Dieser Nullstrom ist so klein, daß er weder das Arbeiten der Schutzrelais stören noch in benachbarten Telefonleitungen unzulässig hohe Spannungen induzieren kann. Praktisch stören also nur Strom und Spannung des Gegensystems.

Die Untersuchung hat ergeben, daß es im Falle einer einzigen Leitung von 500 bis 1000 km Länge genügt, einen einzigen Phasenwechsel in Leitungsmitte vorzunehmen, um das Gegensystem auf 1 % zu senken. Falls mehrere Leitungen sternförmig von der Station abgehen, kann trotz eines Phasenwechsels in der Mitte jeder Leitung das Gegensystem höhere Werte erreichen. Hier läßt sich das Gegensystem verringern, ohne die Zahl der Phasenwechsel zu erhöhen, indem man dafür sorgt, daß ein und derselbe Leiter nicht die gleiche Lage auf den verschiedenen Leitungen, sondern alle drei möglichen Lagen einnimmt. Diese Art der Kompensierung des Gegensystems ist nur vollständig, wenn die Zahl der Leitungen ein Vielfaches von 3 ist, aber im anderen Falle ist das restliche Gegensystem nicht größer als bei einer einzigen Leitung. Zd

1) Étude du déséquilibre électrique engendré sur un réseau de transport d'énergie par des lignes aériennes à conducteurs non transposés. Nach Péricart, J., u. Augès, P.: Rev. gén. Electr. Bd. 68 (1959) S. 415-427; 13 B., 1 Taf.

RUNDSCHAU

DK 621.313.39

Ein neuer Typ eines stetig drehzahleinstellbaren Wechselstrommotors mit großem einstellbarem Leistungsfaktorbereich. (A novel type of smoothly variable speed, a-c motor having widely adjustable power-factor characteristics.) Nach Charlu, P. K.: Trans. Amer. Inst. electr. Eng. (Power App. & Syst.) Bd. 78 (1959) S. 407–413; 9 B., 1 Taf., 10 Qu.

Dieser Wechselstrommotor hat ein genutetes Ständerblechpaket ähnlich einer Drehstrommaschine, aber mit einer Gleichstromerregung. Der Läufer ist wie ein Gleichstromanker aufgebaut. Er wird mit zweiphasigem Drehstrom veränderlicher Spannung über Bürsten gespeist, die mit Synchrdrehzahl umlaufen. Der Strom zu den Bürsten wird über vier Schleifringe zugeführt. Somit erhält man eine Ankerdurchflutung, die gegensynchron zu den Bürsten umläuft und daher räumlich stillsteht.

Ankerdurchflutung und Ständerfeld ergeben ein Drehmoment. Frequenz, Phasenwinkel und Drehmoment der Maschine sind unabhängig von der Ankerdrehzahl. Drehzahl und Leistungsfaktor kann man durch Ändern der Gleichstromerregung, der Ankerspannung oder Vor- oder Rückdrehung der synchron laufenden Bürsten einstellen. Beschränkt man sich nur auf die Ankerspannungsregelung, so läßt sich diese leicht mit einem Regel- oder Doppeldrehtransformator durchführen. Der Aufwand ist geringer als bei der entsprechenden Drehzahleinstellung eines Gleichstrommotors.

Bürstendrehung, Änderung der Gleichstromerregung oder Ankerspannung haben keinen Einfluß auf das Drehmoment. Spannungs- und Drehzahlkennlinien sind denen der Gleichstrom-Nebenschlußmaschine ähnlich. Für den Ankerstrom ergeben sich wie bei der Synchronmaschine V-Kurven mit entsprechenden $\cos \varphi$ -Kennlinien bei Veränderung des Erregerstromes oder bei Bürstendrehung. Der Motor kann auch einphasig betrieben werden, die Kennlinien bleiben im Prinzip erhalten. Die Kommutierungsverhältnisse liegen angeblich ähnlich wie bei dem ständergespeisten Drehstrom-Nebenschlußmotor. Mit zusätzlichem festem Bürstensenst ist die Maschine wie ein selbstsynchronisierender Umformer anzulassen. Zur Verbesserung des Leistungsfaktors kann man Reihenschluß- oder Verbunderregung über Stromtransformatoren und Gleichrichter vorsehen.

Die Kennlinien und die physikalische Wirkungsweise dieser Maschine sind an Hand eines Zeigerdiagramms und einer kurzen Rechnung erklärt. Der Motor ist nach seinem Betriebsverhalten bei gutem Wirkungsgrad für die verschiedensten Antriebe geeignet. Nachteilig ist die Begrenzung der Baugröße durch die Kommutierung und der unangenehme Aufwand an Schleifringen, umlaufenden Bürsten sowie synchronem Bürstenantrieb, da solche störungsanfälligen mechanischen Teile besonderer Wartung bedürfen.

Nc

DK 621.313.333.1.045.54

Mehrphasige Induktionsmotoren mit unsymmetrischer Läufer-schaltung. (Polyphase induction motors with unbalanced rotor connections.) Nach Garudachar, B. N., u. Schmitz, N. L.: Trans. Amer. Inst. electr. Eng. (Power App. & Syst.) Bd. 78 (1959) S. 199–205; 10 B., 5 Qu.

In diesem Aufsatz wird die Rechnung mit symmetrischen Komponenten auf obige Motoren angewendet. Allgemein geltende Gleichungen werden abgeleitet und die Kennlinien für Ströme, Leistung, Drehmoment und Drehzahl eines Schleifringläufermotors vorausberechnet, bei dem zur Drehzahleinstellung die Anlaßwiderstände im Läuferkreis teilweise, aber unsymmetrisch, eingeschaltet sind. Selbst auf den allgemeinen Fall, daß die Läufer- und Ständerwiderstände sowie die speisende Netzspannung unsymmetrisch sind, wird hingewiesen. Zur Vereinfachung der Ansätze und für die physikalischen Erläuterungen sind Ersatzschaltungen angegeben, die für alle Fälle der Rotorunsymmetrien gelten.

Für die Ansatzgleichungen geht man von folgenden physikalischen Betrachtungen aus: Eine symmetrische Spannung am Ständer eines in Betrieb befindlichen Asynchronmotors ruft in den unsymmetrischen Läuferseheinwiderständen unsymmetrische Ströme von Schlupffrequenz hervor.

Diese haben symmetrische Ständerstromkomponenten von Netzfrequenz und $(2s-1)$ mal Netzfrequenz zur Folge, wobei für die zuletzt genannte Stromkomponente die Ständerwicklung über die im Verhältnis kleine Netzimpedanz praktisch kurzgeschlossen ist. Hierin bedeutet s den Schlupf.

Die Stromgleichungen lassen sich nach diesen Überlegungen mit Hilfe der Rechnung mit symmetrischen Komponenten leicht ableiten. Die ohmschen Verluste des mitläufigen Läuferstromes werden, ähnlich wie bei der normalen Asynchronmaschine, für die Berechnung eines mitläufigen (treibenden) Drehmomentes herangezogen, die ohmschen Ständerverluste von der Frequenz $(2s-1)$ mal Netzfrequenz dienen zur Berechnung eines weiteren Momentes, das in der unteren Hälfte des Motor-Drehzahlbereichs treibend, in der oberen Hälfte bremsend wirkt. Bei großer Läuferunsymmetrie erhält man hierdurch etwas oberhalb der halben Synchrdrehzahl einen sehr ausgeprägten Drehmomentsattel. Bei Ausfall eines Läuferstranges wird an dieser Stelle das Drehmoment nahezu Null, und die Maschine bleibt hier beim Anlauf hängen (Görgessches Phänomen).

Die Darstellung des Aufsatzes ist sehr anschaulich, die Ergebnisse und Gleichungen lassen sich sehr gut rechnerisch auswerten. Angeführte Vergleichsmessungen ergeben eine gute Übereinstimmung.

Nc

DK 621.314.235.027.89 : 621.317.2

Ein neuer 1-MV-Prüftransformator mit Stabkern. Nach Schneider, E.: Bull. Schweiz. elektrotechn. Ver. Bd. 50 (1959) S. 701–713; 24 B., 1 Taf., 3 Qu.

Die Forschungskommission für Hochspannungsfragen des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) hat in ihrer Versuchsstation Däniken in der Schweiz einen Prüftransformator in Stabkernbauweise in Betrieb genommen. Dieser Transformator ist primärseitig für eine von 500 V auf 1000 V umschaltbare Spannung und sekundärseitig für einen Effektivwert der Spannung von 1000 kV sowie für eine Leistung von 1000 kVA während 1 min ausgelegt.

Der äußeren Form nach besteht er aus einem dreiteiligen Porzellanstützer von rd. 1 m Dmr. und rd. 6 m Länge und einer innen metallisierten Kopfhaube aus glasfaserverstärktem Polyester von 2,5 m Dmr. Die Gesamthöhe des Transformators beträgt 9 m. Der 5,8 m lange radialgeblechte Stabkern von rd. 20 cm Dmr. hat über der Erregerwicklung zwölf parallelgeschaltete „Flußhaltewicklungen“, die so ausgebildet sind, daß Streuflüsse vermieden und konstante Induktionsflüsse gewährleistet werden sollen. Damit bezweckt man, den Transformator gegen äußere Einflüsse unempfindlicher und von der Belastung unabhängiger zu machen.

Die Hauptisolierung besteht aus 28 Kondensatorschichten, deren Beläge mit den darüber gestaffelt angeordneten Hochspannungsspulen verbunden sind. Das obere Ende der Hauptisolierung ist halbkugelförmig über den Kern gezogen. Diese konzentrischen Halbkugeln mit den Belägen wurden nach einem Sonderverfahren hergestellt. Dies erforderte insofern große Sorgfalt, als die Spannungsfestigkeit gegenüber dem zylindrischen Teil nicht allzu stark vermindert werden durfte.

In dem Aufsatz wird ferner die Berechnung des magnetischen Kreises für diese Stabkernauführung erläutert. In zwei Beispielen werden an Hand von graphischer Integration und Differentiation die Vorteile der unterteilten Wicklung (Flußhaltewicklung) beschrieben.

Fiz

DK 621.316.995

Tiefenerdung. Nach Ufermann, J.: Elektr.-Wirtsch. Bd. 58 (1959) S. 245–248; 8 B., 4 Qu.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit, die sich nur mit den Ausbreitungswiderständen von Tiefenerdern befaßt, stehen die graphischen Darstellungen der rechnerisch ermittelten Ausbreitungswiderstände von Einzel- und Mehrfach-Tiefenerdern für homogenes Erdreich mit einem spezifischen Widerstand von 100 Ω m. Diese Widerstände sind in Abhängigkeit von der Eintreibtiefe dargestellt, bei Einfacherdern für verschiedene Stabdurchmesser, bei Zwei-, Drei- und Vierfacherdern

für verschiedene Abstände der auf dem Umfang eines Kreises regelmäßig angeordneten einzelnen Stäbe mit einem Durchmesser von je 2 cm. Dabei wurde auch die Widerstandsverminderung durch eine Ringverbindung mit geringer Eingrabetiefe zwischen den Einzelerdern berücksichtigt. Naturgemäß gewinnt diese erst bei größeren Abständen der Stäbe wesentlichen Einfluß.

Aus den beiden Darstellungen ist das als Widerstandsverhältnis bezeichnete Verhältnis des Ausbreitungswiderstandes eines Einzelerders zu dem eines Mehrfacherders ebenfalls in Abhängigkeit von der Eintreibtiefe abgeleitet, wobei gegenseitige Verbindungen nicht berücksichtigt wurden.

In einer abschließenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden Ein-, Zwei-, Drei- und Vierfach-Tiefenerder miteinander verglichen. An einem Beispiel, bei dem ein Erderwiderstand von 5Ω bei einem spezifischen Widerstand des Erdreiches von $150 \Omega \text{m}$ erreicht werden soll, werden die Kosten für diese Tiefenerder errechnet, die sich wie 1/1,2/1,36/1,45 verhalten. Dabei sind für den Vierfacherder Stäbe von je 13,5 m Länge, für den Einzelerder dagegen ein Stab von 40,5 m Länge erforderlich.

Wte

DK 621.372.823.2.09

Über Fortpflanzungskonstanten kreiszylindrischer Hohlleiter mit Ferritfüllung. (Propagation constants of circular cylindrical waveguides containing ferrites.) Nach Severin, H. K. F.: Trans. Inst. Radio Eng. on Microwave Theory & Techn. Bd. 7 (1959) S. 337–346; 13 B., 16 Qu.

In dem Aufsatz werden Untersuchungsergebnisse mitgeteilt, die teilweise experimenteller, teilweise theoretischer Art sind, und die sich auf kreiszylindrische Hohlleiter beziehen, in denen sich längsmagnetisierte Ferritstäbe befinden. Für die Versuche, die bei Frequenzen zwischen 5 und 7,6 GHz durchgeführt wurden, sind verschiedene Ferrite verwendet worden. Die Frequenzen lagen in jedem Falle über der ferromagnetischen Resonanzfrequenz die einige Megahertz beträgt. In den Versuchen wurden die Faraday-Drehwinkel je Länge als Funktion der angelegten magnetischen Feldstärke ermittelt, wobei der Stabdurchmesser und die Frequenz als Parameter auftraten. Ferner wurde die Abhängigkeit der Faraday-Drehwinkel je Länge von der Frequenz gemessen. Dieser Winkel der Faraday-Drehung ist durch die Phasengeschwindigkeitsdifferenz zweier polarisierter Komponenten und die Länge des Ferritmediums gegeben.

Gute Übereinstimmung zwischen den theoretischen und experimentellen Ergebnissen wird für einen dünnen axialen Ferritstab in einem luftgefüllten Leiter gefunden, und zwar in den beiden Fällen des gesättigten und des nicht gesättigten Ferritstabes. Die Energiekonzentration im Ferrit bestimmt maßgeblich das Ausbreitungsverhalten beim teilweise gefüllten Hohlleiter. Dieser Effekt kann dadurch gesteigert werden, daß der Ferritstab von einem dielektrischen Mantel, wie z.B. Polystyrol mit einer relativen Dielektrizitätskonstante $\epsilon_r = 2,45$, umgeben wird. Für einen gegebenen Ferritstabdurchmesser und bei gegebenem Dielektrizitätskonstante des Isolierstoffes gibt es einen optimalen Außendurchmesser des dielektrischen Mantels, bei dem die Faraday-Drehung ein Maximum wird. Dieses Maximum verschiebt sich mit höher werdenden Frequenzen zu kleineren Mantel-Außendurchmessern hin.

Thr

DK 621.317.42 : 621.315.66

Magnetische Felder in der Umgebung von Leistungsmasten. (Magnetic fields around a transmission line tower.) Nach Anderson, J. G., u. Hagenquth, J. H.: Trans. Amer. Inst. electr. Eng. (Power App. & Syst.) Bd. 78 (1959) S. 1644–1650; 12 B., 2 Taf., 12 Qu.

Blitzströme in Masten von Übertragungsleitungen werden üblicherweise mit Hilfe der Stahlstäbchenmethode registriert. Die Magnetisierung der Stahlstäbchen ist jedoch in starkem Maße von der Stromverteilung in den einzelnen Mastgliedern, von ihrem Abstand und vom Einfluß der Inhomogenitäten des Feldes an den metallischen Ecken abhängig und läßt daher nicht ohne weiteres eine Aussage über die Größe des gesamten Maststromes zu. Die Verfasser haben deshalb sehr genaue Untersuchungen an einem Modell 1:25 eines 345-kV-Mastes durchgeführt. Die hierbei eingehaltenen Bedingungen für die Modellmaßstäbe werden beschrieben.

An Stelle der für Blitzströme repräsentativen, aber gerätemäßig nicht zu beherrschenden Stoßströme werden durch Fourier-Analyse bestimmte sinusförmige Ströme zur Messung benutzt. Durch Multiplikation mit dem für die Frequenzen gültigen Modellfaktor 25 ergeben sich dabei Schwingungen mit einer Frequenz bis 6,25 MHz. Die Ausmessung der Felder geschieht durch kleine, sorgfältig isolierte und elektrostatisch abgeschirmte Spulen. Die in diesen erzeugte Spannung wird mit Hilfe von Röhrenvoltmetern gemessen.

Das Meßverfahren erlaubt, nach vorausgegangener Eichung alle interessierenden Einflüsse auf die magnetische Feldstärke wie Entfernung vom Mast, Bodenabstand, Art der Mastverstrebung und Erdungsverhältnisse zu erfassen. Vor allen Dingen konnten die früher an den Eckpfosten der Masten durchgeführten Stahlstäbchenmessungen nachgeprüft werden. Der bisher für die Feststellung des gesamten Maststromes angenommene Umrechnungsfaktor 4 erwies sich als zu niedrig. Ein Wert von 12 scheint den Verfassern eher gerechtfertigt. In der Nähe der Traversen bleiben die Feldstärken wegen der Nebenschlußwirkung auf die Ströme geringer als erwartet.

Die für die Beurteilung der Sicherheit von Übertragungsleitungen bei Blitzeinwirkungen wichtigen Werte der Mastinduktivität und des Mastwellenwiderstandes werden durch Substitution des Mastmodells durch entsprechende Hohlzylinder, deren Leitungskonstanten berechnet werden können, bestimmt.

Schder

DK 621.375.3 : 621.317

Über die Verwendung des Vollweg-Magnetverstärkers als Meßorgan großer Gleichströme in Regelsystemen. Nach Melnikov, O. N.: Elektritschestwo 1959, H. 8, S. 36–40; 5 B., 3 Qu.

In der Arbeit werden verschiedene Schaltungen von Magnetverstärkern mit unmittelbarer Gleichstrom-Vormagnetisierung und Rückkopplung in bezug auf die Leistungsaufnahme, die Schnelligkeit des Ansprechens und die Linearität untersucht. Zuerst wird das Verhalten von Magnetverstärkern bei Steuerstromstärken, die bedeutend größer sind als der Leerlaufstrom, betrachtet. Anschließend werden die Verhältnisse bei kleineren Steuerströmen behandelt, und zwar beim sprunghaften Anwachsen und bei linearer Änderung des Stromes. Die rückgekoppelte Schaltung mit Transformator weist bei richtig bemessenem Rückkopplungsfaktor lineares Verhalten, kleine Zeitkonstante und Stabilität im Betrieb auf.

Mdc

DK 621.396

Entwicklungstendenzen in der Funktechnik, besonders im Hinblick auf die erweiterte Anwendung der Einseitenband-Technik. Nach Frommer, E.: Nachrichtentechn. Z. Bd. 12 (1959) S. 217–227; 17 B., 36 Qu.

Der steigende Bedarf an Hochfrequenz-Übertragungskanälen und der schon fühlbare Mangel an Frequenzen führt logisch zur Einseitenband-Technik. Am Beispiel des vorgeschlagenen Frequenzuteilungsplanes für den beweglichen Flugfunkdienst wird gezeigt, wie man durch Einseitenband-Technik zu höheren Kanalzahlen (76 statt 43 bzw. 32 statt 13 in zwei verschiedenen Bändern) kommen kann. Bisher war für Einseitenband-Übertragungen ein Aufwand nötig, der ihre Anwendung oft verhinderte.

Die Frage der Frequenzstabilität im Empfänger, die früher nur durch automatische Frequenznachregelung lösbar war, läßt sich heute durch Frequenzsynthese mit einem Quarz und mäßigem Aufwand lösen. Für die Auf- und Abbereitung der Einseitenband-Modulation kommen bei der Filtermethode neue elektromechanische Filter in Frage; für die Phasenmethode gibt es neuere Schaltungen, in denen die komplizierten Breitband-Phasenschieber wegfallen.

Obgleich Frequenzstabilität und Auf- und Abbereitung gut zu beherrschen sind, so macht doch noch die Linearität der Leistungsverstärkung im Sender gewisse Schwierigkeiten. A-Verstärker haben zu kleine Wirkungsgrade, AB- oder B-Verstärker müssen aber mittels Niederfrequenz-Gegenkopplung oder Hochfrequenz-Rückkopplung linearisiert werden. Durch Trennung des phasen- und amplitudenmodulierten Anteils kommt man zu einer Zweikanal-Leistungsverstärkung, die im Phasenmodulations-Zweig mit einem C-Verstärker arbeiten kann. Abschließend werden einige Anwendungsmöglichkeiten und Probleme der Übergangszeit von Zwei- auf Einseitenband-Betrieb erörtert.

Rbr

VERBANDSNACHRICHTEN

V D E

Verband Deutscher Elektrotechniker

Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6

Fernruf: 4 31 57; Fernschreiber (Telex): 04-12 871;

Telegramm-Kurzanschrift: Elektrobund;

Postscheckkonto: Frankfurt a. M. 388 68.

Entwurf für die Änderung VDE 0250 b „Vorschriften für isolierte Starkstromleitungen“

In dem in ETZ-B Bd. 12 (1960) H. 5, S. 116 angekündigten Entwurf VDE 0250 b/...60 wurde aus Versehen in § 29 „Gummischlauchleitungen mit Tragorgan“ anschließend an Absatz d) 5 folgender Text ausgelassen:

„Über den einzelnen Lagen ist eine offene oder geschlossene Lage aus Gewebeband oder Faserstoffäden zulässig.“

6. **Aderkennzeichnung:** Abweichend von § 5 wird keine bestimmte Aderkennzeichnung vorgeschrieben; gegebenenfalls sind aber die entsprechenden Vorschriften von VDE 0100 zu beachten.

7. **Gemeinsame Aderumhüllung:** Über den verseilten Adern ist eine offene oder geschlossene Lage aus Gewebeband oder Faserstoffäden zulässig.

8. **Äußere Umhüllung:** Mantel aus Gummimischung G III a, Nennwanddicke nach Tafel 9 A.

e) **Prüfung gemäß Prüftafel.**

Bei **Spannungsprüfung:** Prüfspannung 2 kV Wechselspannung.“

Dieser Text wird den Entwürfen, die nach Feststellung dieses fehlenden Textes ausgeliefert werden, beigelegt.

VDE-Vorschriftenstelle

Weise

VERANSTALTUNGSKALENDER

Amberg: VDE-Bezirksverein Nordbayern, Stützpunkt Amberg, Haselmühlstr. 50.

27. 4. 1960, 20.00, SSW-Gerätewerk Amberg, Haselmühlstr. 50: „Forschungsergebnisse der Erdsatelliten“, Dr. K. H. Paetzold, Weißenau.

Bamberg: VDE-Bezirksverein Nordbayern, Nürnberg, Harmoniestr. 27.

26. 4. 1960, 20.15, Oberrealschule, Bamberg, Kapuzinerstr. 19: „Forschungsergebnisse der Erdsatelliten“, Dr. H. K. Paetzold, Weißenau.

Berlin: EV Berlin, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstr. 33.

21. 4. 1960, 18.15, Technische Universität, Hörsaal EB 301: „Tetroden-Fernsehsender unter besonderer Berücksichtigung von Anlagen im Band IV/V“, Dr.-Ing. U. Finkbein, München.

Biberach: ETV Württemberg, Stützpunkt Biberach, i. Hs. Elektrizitätsversorgung Schwaben.

12. 4. 1960, 17.00, Elektrizitätsversorgung Schwaben, Sitzungssaal, Biberach, Bahnhofstr. 19: „Über das wirtschaftliche Denken des Ingenieurs“, Dr. K. Bobek, Berlin.

Bonn: VDE-Bezirk Köln, Stützpunkt Bonn, Immenburgstr. 7-11.

12. 4. 1960, 19.00, Fernmeldeamt, Bonn, Reuterstr. 91: „Bausteine für trägheitsarme Steuerungen“, Dipl.-Ing. G. Schinze, Heiligenhaus.

Frankfurt: VDE-Bezirksverein Frankfurt, Gräfestr. 91.

26. 4. 1960, 17.30, Hörsaal für angewandte Physik, Robert-Mayer-Str. 2: „Die Dampfturbine — wegen ihrer weitgehenden Gestaltungsmöglichkeit die gegebene Kraftmaschine für die Industrie“, Dipl.-Ing. E. Goerk, Erlangen.

Hagen: VDE-Bezirk Bergisch Land, Stützpunkt Hagen, Gneisenastr. 18.

21. 4. 1960, 18.00, Elektromark, Vortragssaal: „Die Wirkungsweise moderner Regelantriebe“, Dr.-Ing. Ströhle.

Hamburg: VDE-Bezirk Hamburg, Gerhart-Hauptmann-Platz 48.

21. 4. 1960, 17.30, Museum f. Völkerkunde, großer Vortragssaal, Rothenbaumchaussee 64: „Die Instrumentierung von Kernreaktoren“, Dir. Prof. Dr.-Ing. L. Merz, Karlsruhe.

Hannover: ETG Hannover, Bischofsholer Damm 70.

10. 5. 1960, 18.15, Techn. Hochschule, Hörsaal 42: „Fortschritte und Neuerungen in der Entwicklung von Präzisionsinstrumenten für Gleich- und Wechselstrom“, Dr.-Ing. A. Ebinger, Berlin.

Kassel: VDE-Bezirksverein Kassel, Kassel-Bettenhausen, Lilienthalstr. 150. 21. 4. 1960, 18.00, Hessisches Landesmuseum, Hörsaal: „Zeitgemäße Weiterentwicklung der Fehlerortsmeßtechnik für Kabel und Freileitungen“, Dipl.-Ing. G. Neubehler, Karlsruhe.

Kiel: VDE-Bezirk Schleswig-Holstein, Kiel, Gartenstr. 6-10.

22. 4. 1960, 20.00, Ingenieurschule, Aula, Legienstr. 35: „Die Fortschritte der modernen Naturwissenschaften und ihre Auswirkungen auf Ausweitung und Differenzierung der akademischen Berufe“, Prof. Dr. rer. techn. W. Niens, Berlin.

26. 4. 1960, 17.30, Landesbrandkasse, kleiner Saal, Gartenstr. 4: „Probleme der Auswahl und Anwendung bei Bauelementen der Elektronik“, Obering. Bette, Erlangen.

Köln: VDE-Bezirk Köln, Köln-Riehl, Amsterdamer Str. 192.

22. 4. 1960, 18.00, Staatliche Ingenieurschule, Ubiering 48: „Steigerung der Betriebsgüte in Fernsprechanlagen durch Verkehrs- und Betriebskontrollen“, Dipl.-Ing. H. Knappe, München.

Konstanz: ETV Südbaden, Stützpunkt Konstanz, Brauneggerstr. 55.

14. 4. 1960, 19.30, Staatstechnikum, Physiksaal: „Die selbsttätige Regelung von Dampferzeugern“, Dr.-Ing. E. Samal, Heiligenhaus.

Lüdenscheid: VDE-Bezirk Bergisch Land, Stützpunkt Lüdenscheid, Winkhauser Str. 22.

10. 5. 1960, 20.00, Gaststätte Erholung, Lüdenscheid, Sauerfelder Str. 17: „Entwicklungstendenzen der modernen industriellen Meßtechnik“, Obering. Brandenburger, Erlangen.

Mannheim: VDE-Bezirk Kurpfalz, Mannheim D 3, 15

27. 4. 1960, 17.30, Kunsthalle, Mannheim: „Entwicklungslinien auf dem Gebiet der Höchstspannungs-Schaltanlagen unter besonderer Berücksichtigung isolationstechnischer Probleme bei der Verwendung von Kunststoffen“, Dir. Dipl.-Ing. G. Meiners, Berlin.

München: ETV München, München 8, Zweibrückenstr. 33 a.

11. 4. 1960, 18.00, Deutsches Museum, Vortragssaal 2: „Moderne Großraumspeicher für die Datenverarbeitung“, Dr.-Ing. R. Piloty, Stuttgart.

Münster: ETV des Rheinisch-Westfälischen Industriebezirks Essen, Stützpunkt Münster, Herwarthstr. 6-8.

21. 4. 1960, 19.30, Staatliche Ingenieurschule für Bauwesen, Physiksaal, Münster, Eingang Lotharingerstraße: „Fragen bei der Planung und Ausführung von Leistungs-Kondensatoren-Anlagen unter besonderer Berücksichtigung fabrikfertiger Kondensator-Regelanlagen“, Dipl.-Ing. E. Bornitz, Frankfurt a. M.

Neheim-Hüsten: VDE-Bezirk Bergisch Land, Stützpunkt Neheim-Hüsten, Heidestr. 4, i. Hs. Lenze KG.

12. 4. 1960, 20.00, Hotel Egen, Neheim-Hüsten, Mendener Str. 15: „Entladungslampen und ihre technischen Probleme“, Dr.-Ing. Sturm.

Nürnberg: VDE-Bezirksverein Nordbayern, Nürnberg, Harmoniestr. 27.

26. 4. 1960, 19.30, Germanisches National-Museum, Vortragssaal, Kartäusergasse 7: „Berechnung dreiphasiger Asynchronmotoren mit Einfachkäfigläufer mit dem elektronischen Digitalrechner“, Dipl.-Ing. S. Lehmann, Berlin.

Siegen: VDE-Bezirk Bergisch Land, Stützpunkt Siegen, Hubertusweg 29.

22. 4. 1960, 18.00, EW Siegerland, Belegschaftsraum, Juliusstraße: „Technik im Film“ mit den BP-Filmen: „Probleme der Schmierung“, „Konstruktion von Überschallflugzeugen“, „Vorstoß in die Antarktis“, „Erwachendes Kuweit“.

Solingen: VDE-Bezirk Bergisch Land, Stützpunkt Solingen, Donaustr. 51.

26. 4. 1960, 19.30, Vereinshaus CVJM, Solingen, Am Birkenweiher 52: „Nord-West-Olleitung Wilhelmshafen-Köln, eine fernüberwachte und ferngesteuerte Erdöltransportleitung“, Dr.-Ing. B. Türk.

Wetzlar: VDE-Bezirksverein Frankfurt, Stützpunkt Gießen, Schanzenstr. 3.

12. 4. 1960, 17.00, Kestnerschule, Wetzlar: „Elektrostatische Farbsprühanlagen“, Dr.-Ing. O. Renner, Frankfurt a. M.

Wuppertal: VDE-Bezirk Bergisch Land, Stützpunkt Wuppertal-Elberfeld, Augustastr. 134.

12. 4. 1960, 18.00, Staatliche Ingenieurschule, großer Hörsaal, Gartenstraße 45: „Der Film als Mittel zur Darstellung technischer Vorgänge“, Oberpostrat Dipl.-Ing. G. Goebel, Darmstadt.

Würzburg: VDE-Bezirksverein Nordbayern, Stützpunkt Würzburg, Ludwigstr. 1.

11. 4. 1960, 18.00, Überlandwerk Unterfranken, Vortragssaal „Elektroberatung“, Würzburg, Kaiserstr. 29: „Relais und Transistor“, Dr. rer. nat. H. Helmrich, München.

Berlin: Lichttechnische Gesellschaft, Bezirksgruppe Berlin, Berlin-Charlottenburg 4, Leibnizstr. 59.

20. 4. 1960, 18.00, Technische Universität, Hörsaal H 1012: „Sicherheit bei Herstellung und Anwendung von Leuchten“, Obering. L. Weis, Erlangen.

Essen: Haus der Technik, Essen, Hollestr. 1.

27. 4. 1960, 14.00, Haus der Technik: „Die Praxis des katholischen Schutzes erdverlegter Anlagen“ Teil II „Exkursion“, Dipl.-Ing. K. Thahof, Essen.

Wuppertal: Technische Akademie Bergisch Land, Wuppertal-Elberfeld, Hubertusallee 18.

27. 4. bis 29. 4. 1960, 9.00—17.00, „Verhütung elektrischer Unfälle auf Baustellen“, Landesoberbaurat Dipl.-Ing. P. Schnell, Münster, u. Dr.-Ing. A. Hösl, München.

ERLÄUTERUNGEN ZU VDE-BESTIMMUNGEN

Erläuterungen zum Entwurf VDE 0866/...60 „Vorschriften für Funksender“

Von Ernot Prokott, Darmstadt*)

DK 621.396.61(083.133)VDE

Die VDE-Kommission 0866¹⁾ folgt einem seit Jahrzehnten bestehenden Bedürfnis, wenn sie den 1. Entwurf einer Vorschrift für Funksender der Öffentlichkeit zur Stellungnahme unterbreitet. Daß es verhältnismäßig lange dauerte, bis dieser Schritt getan wurde, ist wohl dadurch begründet, daß auf diesem Gebiet die Mannigfaltigkeit der Ausführungsformen, der Anwendungsmöglichkeiten und der elektrischen Eigenschaften zu berücksichtigen ist. Die Kommissionsmitglieder waren sich darüber im klaren, daß diesen Umständen beim Entwerfen der Vorschrift nicht dadurch Rechnung getragen werden konnte, daß ein auf die Einzelheiten eingehender Entwurf in der Vielseitigkeit erstellt wurde, die den praktisch vorkommenden Gegebenheiten entspricht. Es galt daher, den Stoff nach möglichst einfachen gemeinsamen Gesichtspunkten zu ordnen.

Die Vorschriften gelten für Funksender einschließlich der Sender-Stromversorgung. Für Stromversorgungsanlagen, die nicht unmittelbar einen Teil des Senders in geschlossener Bauweise darstellen, gelten die Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen gemäß VDE 0100, VDE 0101 und VDE 0105, soweit sich daraus für Funksender keine Abweichungen von dem vorliegenden Entwurf VDE 0866 ergeben. Im gleichen Sinne gelten für Funksender die Vorschriften für Fernmeldeanlagen nach VDE 0800.

Nach dem Entwurf werden drei Anwendungsklassen unterschieden:

- A. Funksender, die von funktechnisch ungeschultem Personal bedient werden oder jedermann zugänglich sind, z. B. Funkfernsprecher und ähnliche;
- B. Funksender, die in der Regel von geschultem Personal bedient werden und in besonderen, nicht jedermann zugänglichen Räumen aufgestellt sind, z. B. Rundfunksender, Schiffssender;
- C. Funksender, an die wegen des Aufstellungsortes oder besonderer Betriebsbedingungen andere Anforderungen als an Sender der Klasse A oder B zu stellen sind. Für diese Sonderklasse sind besondere Vereinbarungen zwischen Besteller und Lieferer notwendig.

Der Entwurf VDE 0866 sieht also eine ähnliche Klasseneinteilung vor, wie sie in den IEC-Vorlagen gewählt worden ist²⁾. Der Entwurf enthält in weitem Rahmen die Ansichten der in dieser Kommission tätigen Vertreter aus Industrie und Behörden sowie anderer Benutzer von Funksendern. Noch ist nicht in allen Punkten eine Annäherung an die im Werden begriffenen internationalen Empfehlungen der IEC zu erreichen. Im besonderen trifft dies für die Anwendungsgrenze der Vorschriften bezüglich der im Gerät auftretenden Spannungen zu. Die Grenze liegt nach den IEC-Entwürfen bei einer Spitzenspannung von 34 V und entsprechend anderen deutschen Bestimmungen bei einer effektiven Spannung von 42 V. Eine weitere Aufgabe zur internationalen Annäherung der Bestimmungen ist das Problem der Blockierungseinrichtungen. In Deutschland hat sich in weitem Umfang eine elektrische Blockierung eingebürgert, die beim Öffnen von Türen am Sender wirksam wird und alle gefährlichen Spannungen abschaltet. Die Blockierungskontakte können unter Sicherung durch optische und akustische Warnzeichen, die den Gefahrenzustand kennzeichnen, überbrückt werden, wenn Störungsursachen ermittelt oder der Sender im eingeschalteten Zustand untersucht werden muß. Diese Tätigkeit darf nur durch Fachkräfte oder unterwiesene Personen ausgeübt werden. Demgegenüber wird auf internationaler Ebene angestrebt, lediglich eine mechanische Verriegelung anzuwenden, die sicherstellen soll, daß alle gefährlichen Spannungen abgeschaltet sind, bevor der Sender geöffnet wird.

Dies soll z. B. so erreicht werden, daß der Schlüssel zum Sender im Hauptschalter steckt und dieser Schlüssel dann dem Hauptschalter entnommen werden kann, wenn dieser in Stellung „Aus“ steht. Ob die Zukunft die allgemeine Anerkennung beider Systeme bringen wird, ist noch offen.

*) Oberpostat Dr.-Ing. E. Prokott ist Vorsitzender der VDE-Kommission „Funksender“.

1) Der Hinweis auf den Entwurf für eine Neufassung von VDE 0866 ist in ETZ-A Bd. 81 (1960) H. 7, S. 282, veröffentlicht.

2) Siehe Bericht über Tagung des Unterkomitees 12-6 Funksender in Ulm. Erscheint demnächst in Elektronorm Bd. 14 (1960) H. 3.

Im vorliegenden Entwurf sind alle Punkte weggelassen, die ihrer Art nach in ein Pflichtenheft gehören, d. h. Gegenstand der Vereinbarung zwischen Besteller und Lieferer sind. Für das Errichten von Funksendern ist nur der Stoff behandelt worden, der die Sicherheit betrifft. Vorschriften, die sich mit Sicherheitsfragen beim Betreiben von Funksendern befassen, werden in einigen Monaten ebenfalls der Öffentlichkeit vorgelegt werden. Die VDE-Kommission 0866 nimmt an, durch die Veröffentlichung des Entwurfs über die Vorschriften für Funksender einen Beitrag geliefert zu haben, durch den eine Reihe bisher offen gebliebener Fragen beantwortet wird.

BEKANNTMACHUNGEN

VDI-Hauptversammlung

Die diesjährige Hauptversammlung des Vereins Deutscher Ingenieure [siehe ETZ-B Bd. 12 (1960) H. 6, S. 143] ist um einen Tag vorverlegt worden und findet demgemäß vom 16. bis 20. Mai 1960 in Hamburg statt.

Reisen zum Studium der Elektroindustrie in den USA und in Japan

Auf Grund von Anregungen der deutschen Elektroindustrie veranstaltet der Wirtschaftsdienst Studienreisen in der Hapag-Lloyd Reisebüro-Organisation in Frankfurt a. M. je eine Fachstudienreise für Elektrotechniker nach Japan und nach den USA. Die Reise nach Japan soll vom 3. bis 23. Juni 1960, die Reise nach den USA vom 14. Juni bis 1. Juli 1960 stattfinden. Nähere Auskunft erteilt der Wirtschaftsdienst Studienreisen, Frankfurt a. M., Kirchnerstraße 4, Fernruf 2 78 54.

Tagung „Navigation und Sicherheit der Schifffahrt“

Die vom Ausschuß für Funkortung veranstaltete Internationale Jahrestagung „Navigation und Sicherheit der Schifffahrt“ findet vom 12. bis 17. September 1960 in Kiel statt. Nähere Auskunft erteilt der Ausschuß für Funkortung, Düsseldorf, Am Wehrhahn 94, Fernruf 2 75 12.

Internationales Kolloquium über die Physik der elektrostatischen Kräfte und deren Anwendungen

Das „Centre National de la Recherche scientifique“ der Universität Grenoble veranstaltet vom 27. September bis 1. Oktober 1960 ein internationales Kolloquium über die Physik der elektrostatischen Kräfte und deren Anwendungen. Nähere Auskünfte erteilt der Sekretär des Organisationskomitees, Prof. N.-J. Felici, Institut Fourier, Place Doyen-Gosse, Grenoble (Isère), Frankreich; Fernruf 44-43 : 79.

PERSÖNLICHES

Th. Dall f. — Kurz vor Vollendung seines 66. Lebensjahres verschied am 16. Februar 1960 unerwartet nach einer Operation, von der er sich schon wieder gut erholt hatte, Dr.-Ing. Theodor Dall. Mit ihm verlieren der Verband Deutscher Elektrotechniker den

langjährigen, hervorragenden Leiter seiner Prüfstelle und seine Kollegen und Freunde einen aufrichtigen und immer korrekten Menschen, auf dessen Wort man bauen konnte.

Theodor Dall, geboren 1894 in Tondern (Schleswig), studierte nach Ablegung seiner Reifeprüfung und anschließender praktischer Lehrzeit ab Ostern 1914 an der TH Hannover Elektrotechnik. Sein Studium wurde durch den Beginn des ersten Weltkrieges unterbrochen und konnte erst wieder 1919 fortgesetzt werden. Nachdem Dall im Jahre 1921 seine Diplomprüfung abgelegt hatte, nahm er seine erste Stelle in der In-



dustrie bei der Brown, Boveri & Cie. AG, Mannheim, an, die er bis zum Jahre 1934 innehatte. Dort arbeitete *Dall* anderthalb Jahre im Hochspannungslaboratorium, wo er sich mit der Regelung von Maschinen und Zentralen sowie mit Generatoren- und Netzschutz befaßte. In dieser Zeit wurden zahlreiche Erfindungen, darunter ein grundlegendes Patent für das BBC-Distanzschutzrelais von ihm gemacht. Anschließend war *Dall* mehrere Jahre Gruppenführer im Prüf- und Versuchsfeld und hatte die Überwachung bei den Montagen von Generatoren, Transformatoren in Kraftwerken, Umspann- und Umformerwerken. Er wurde zum Oberingenieur ernannt und Assistent der Direktion. Im Jahre 1928 wurde er mit der Leitung der Abteilung Elektrowärme betraut, wobei ihm nicht nur die Entwicklung und Konstruktion der Geräte oblag, sondern auch der Verkauf in seinen Bereich fiel, den er mit großer Umsicht sechs Jahre lang geleitet hat.

1934 wurde *Dall* Vorstandsmitglied und Technischer Leiter der Gesellschaft für elektrische Anlagen AG, Stuttgart, wo er sich mit dem Bau von Fernleitungen und Ortsnetzen sowie mit der Fertigung von Elektrowärmegegeräten zu befassen hatte. Später war er Abteilungsleiter der Wirtschaftsgruppe Elektrizitätsversorgung, wo ihm die Behandlung der Fragen der Elektrizitätsanwendung im Haushalt, Gewerbe und in der Landwirtschaft oblag. Im Jahre 1937 promovierte *Dall* an der TH Hannover.

Einige Zeit vor seiner Einberufung zum Heeresdienst im zweiten Weltkrieg hatte Dr. *Dall* die Leitung der VDE-Prüfstelle Berlin-Charlottenburg übernommen, konnte jedoch im Mai 1940 zur VDE-Prüfstelle zurückkehren. In den Jahren 1943/44 mußte die Prüfstelle zweimal verlegt werden. Dr. *Dall* leitete diese Arbeiten mit großer Umsicht und sehr viel Verständnis. Die Leitung der Prüfstelle hatte er bis Februar 1946 inne.

Nach dem zweiten Weltkriege war Dr. *Dall* maßgeblich an dem Wiederaufbau des VDE-Prüfwesens beteiligt und hat im August 1950 selbst wieder die Leitung der VDE-Prüfstelle übernommen. Mit großer Freude widmete er sich der neuen Aufgabe an der Prüfstelle in Frankfurt a.M. und baute diese immer weiter aus. Ganz besonders lag ihm die Entwicklung der Einrichtung der erweiterten Prüfstelle im neuen VDE-Haus am Herzen, die er mit großem Geschick durchführte. Leider war es ihm nicht mehr vergönnt, die Arbeiten in dieser Prüfstelle aufzunehmen.

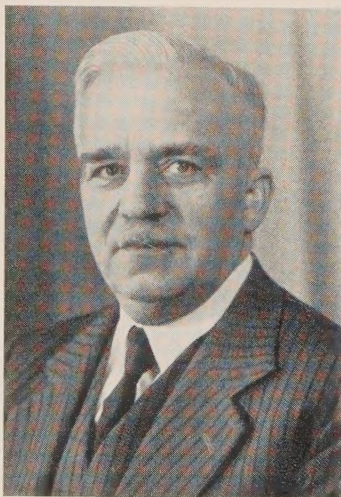
Dr. *Dall* widmete sich nicht nur seinem internen Wirkungskreis, sondern darüber hinaus hat er mit seinem großen Wissen die Zusammenarbeit in den internationalen Gremien erleichtert und manche Diskussion in die richtige Bahn gelenkt. Alle, die ihn kannten, und alle, die beruflich mit ihm zu tun hatten, schätzen in ihm den bescheidenen, korrekten und aufrichtigen Menschen. Er wird für uns alle unvergessen bleiben.

H. Schachtner

H. Neugebauer f. — Am 22. Februar 1960 verschied kurz nach Vollendung seines 67. Lebensjahres der ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiter und Leiter des Büros für Relaischutztechnik, Automatik und Fernwirktechnik der Siemens-Schuckertwerke AG in Erlangen, Oberingenieur i. R. Dipl.-Ing. *Hermann Neugebauer*.

Am 18. Januar 1893 in Schlesien geboren, trat *Neugebauer* nach seinem Studium an der TH Dresden 1922 in die Dienste der Siemens & Halske AG, Berlin. Seine Tätigkeit in der Meßabteilung des Wernerwerk als Spezialist für Meßtechnik führte ihn nach Madrid und Barcelona. Die enge Verknüpfung der Meßtechnik mit der Selektivschutztechnik war die Veranlassung, ihn 1928 zum Lösen von Sonderaufgaben der Schutztechnik zu den Siemens-Schuckertwerken zu berufen. Seit dieser Zeit war er bis zu seinem Ausscheiden am 30. September 1958 auf dem Selektivschutzgebiet tätig. Nach seinem Übertritt in den Ruhestand stellte sich *Neugebauer* noch weiterhin als freier Mitarbeiter den SSW zur Verfügung.

Die Fachwelt begegnet in der Selektivschutztechnik auf Schritt und Tritt Impulsen, die von der Entwicklungstätigkeit *Hermann Neugebauers* ausgingen. Seine frühe Berührung mit diesem in den zwanziger Jahren noch in den Kinderschuhen stehendem Gebiet, seine hervorragenden technischen Fähigkeiten, sein vielseitiges



Wissen, seine reichen Erfahrungen, seine Gewissenhaftigkeit und sein klarer Blick für technische Möglichkeiten waren die Grundlage für seine umfassende schöpferische Tätigkeit. Sie fand ihren Niederschlag in mehr als hundert Patentanmeldungen, in seiner Mitarbeit an dem 1936 von *M. Schleicher* herausgegebenen Buch „Die moderne Selektivschutztechnik und die Methoden zur Fehlerordnung in Hochspannungsanlagen“ und schließlich in seinem eigenen 1955 erschienenen Buch „Selektivschutz“.

Sein bescheidenes und liebenswürdiges Wesen ließ ihn sich nie nach der Spitze drängen. Er war dennoch ein unentbehrliches Mitglied in einer größeren Zahl von Ausschüssen in deutschen und internationalen technischen Gremien (VDE und CIGRE), in denen er mit Überzeugung für die einmal von ihm als richtig empfundene Erkenntnisse eintrat. Alle, die ihn kannten und mit ihm dienstlich oder privat in Berührung kamen, betrauern in *Hermann Neugebauer* nicht nur den bedeutenden Ingenieur, sondern auch den Menschen mit ausgezeichneten Eigenschaften. Sie werden sein Vorbild in dankbarer Erinnerung behalten.

L. Rimmack

K. Vossloh f. — Am 5. Februar 1960 starb im Alter von 78 Jahren *Karl Vossloh*, Mitinhaber der Vossloh-Werke GmbH, Werdohl (Westf.), und Ehrenbürger der TH Aachen.

oi

B. Habbel f. — Am 26. Januar 1960 verstarb im 50. Lebensjahr *Eernhard Habbel*, langjähriger Mitarbeiter und Prokurist der Glühlampenwerk Merkur GmbH, Soest (Westf.). Im Jahre 1925 trat er in die Firma ein und war viele Jahre — nur unterbrochen durch Krieg und Gefangenschaft — Leiter der Einkaufsabteilung. Auf Grund seiner Fähigkeiten wurde er 1954 zum Prokuristen ernannt. *Habbel* war ein eifriger Mitarbeiter in der Fachgruppe 16 (Allgebrauchslampen) des ZVEI. Besonders lag ihm immer die Pflege des beruflichen Nachwuchses am Herzen.

ii

F. Bronstert. — Am 18. Februar 1960 feierte *Franz Bronstert*, technisches Vorstandsmitglied der Accumulatoren-Fabrik Aktiengesellschaft, Hagen (Westf.), seinen 65. Geburtstag. Als junger Ingenieur trat *Bronstert* 1923 in die AFA ein. 1941 wurde er Oberingenieur, 1943 Werksdirektor in einem der größten Zweigwerke. 1951 fand sein Lebenswerk die verdiente Anerkennung durch die Berufung in den Vorstand der AFA, der er 37 Jahre angehört hat.

Auf dem Gebiet der Akkumulatorenfertigung erzielte er seine großen Erfolge: Die früher nicht für möglich gehaltenen Leistungssteigerungen der Akkumulatorenzellen wurden unter seiner Leitung erreicht. Ein besonderes Anliegen war ihm der zwischenstaatliche technische Erfahrungsaustausch. Sein Name und sein Ruf als Akkumulatorenfachmann sind in der ganzen Welt bekannt.

fi

J. Bruncken. — *Johannes Bruncken*, Gründer und Inhaber der Cölner Elektromotorenfabrik *Johannes Bruncken*, Köln-Bickendorf, vollendete am 22. Februar

1960 sein 80. Lebensjahr. Die Entwicklung des von ihm im Jahre 1907 gegründeten Unternehmens ging über den Einphasenmotor bis zum hochwertigen Drehstrommotor von heute. Die Entwicklung des Doka-Motors Anfang der zwanziger Jahre, der als Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motor die Anlaufeigenschaften eines Schleifringläufers hat und noch immer guten Ruf in Fachkreisen genießt, ist als seine ausschließliche Leistung anzusprechen. *J. Bruncken* gab als erster die Anregung zu dem heute im Aufzugsbau üblichen polumschaltbaren Aufzugsmotor und befaßte sich auch als erster mit der Herstellung dieser Motoren. Heute noch nimmt der Jubilar regen Anteil an dem fortschrittlichen Geschehen seines Unternehmens.



fi

J. Großkopf. — Dr.-Ing. *Jürgen Großkopf* wurde von der Fakultät für Elektrotechnik an der TH Darmstadt für das Wintersemester 1959/60 der Lehrauftrag für das Fach „Wellenausbreitung“ erteilt.

oi

L. Hannakam. — Dr.-Ing. *Ludwig Hannakam* wurde in der Fakultät für Elektrotechnik der TH Darmstadt die *venia legendi* für das Fachgebiet „Dynamisches Verhalten elektrischer Maschinen“ erteilt.

oi

H. Hecht. — Dr. phil. Dr. rer. nat. h. c. *Heinrich Hecht*, Mitbegründer und Gesellschafter der Electroacoustic GmbH, Kiel, vollendete am 4. Februar 1960 sein 80. Lebensjahr. Dr. Hecht ist einer der Pioniere der deutschen Unterwasserschalltechnik und der Technischen Akustik und hat sowohl als Wissenschaftler als auch als Praktiker internationalen Ruf. 1903 promovierte Hecht an der Königsberger Universität. 1908 kam er als leitender Physiker nach Kiel. 1926 wurde er Mitbegründer der Electroacoustic GmbH und übernahm die Leitung der wissenschaftlichen und technischen Forschung und Entwicklung dieses Unternehmens. In einer großen Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen hat er entscheidende Beiträge zu den Grundlagen seines Fachgebietes geleistet. Seine Bücher „Schaltschemata und Differentialgleichungen elektrischer und mechanischer Schwingungsgebilde“ und „Elektroakustische Wandler“ gehören zu den Standardwerken dieses Gebietes.

Dr. Hechts Verdienste als Forscher und Unternehmer sind durch die Ernennung zum Ehrensator der TU Berlin und zum Ehrenbürger der Universität Kiel sowie durch die Verleihung der Würde eines Ehrendoktors der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen und des Großen Verdienstkreuzes des Verdienstordens der Bundesrepublik gewürdigt worden. *fi.*

E. Kilb. — Dr.-Ing. *Ernst Kilb* wurde von der Fakultät für Elektrotechnik an der TH Darmstadt für das Wintersemester 1959/1960 der Lehrauftrag für das Fachgebiet „Elektrische Bahnen“ erteilt. *oi*

E. Roser. — Am 20. März 1960 vollendete Dir. a.D. Dr.-Ing. *Edmund Roser* auf seinem Ruhesitz in Freudenstadt (Schwarzwald) sein 90. Lebensjahr.

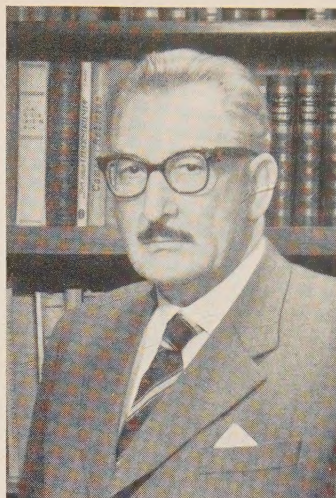
Aus dem Leben und Wirken dieses erfolgreichen Ingenieurs interessieren insbesondere folgende Daten: Das wissenschaftliche Rüstzeug für seinen Beruf erhielt der geborene Stuttgarter an der TH seiner Heimatstadt. Hier erwarb er als erster seiner Fakultät die akademische Würde eines Doktor-Ingenieurs. Nachdem Dr.-Ing. *Roser* acht Jahre als Assistent des Staatsrats Prof. von Bach an der TH Stuttgart tätig war, übernahm er die Leitung der Maschinenfabrik G. Kuhn in Stuttgart-Berg. Im Jahre 1909 berief ihn *August Thyssen* in den Vorstand seiner Maschinenfabrik Mülheim (Ruhr), wo er während seiner 16-jährigen Tätigkeit verschiedene Neuentwicklungen einleitete. Besonders hervorzuheben sind dabei die Großgasmaschinen der damaligen Maschinenfabrik Thyssen & Co., die Entwicklung der Holzwarth-Gasturbine und die Turbogeneratoren. So wurden z. B. unter



Rosers Leitung in den zwanziger Jahren Turbogeneratoren mit 3000 U/min für Leistungen von 12 MVA bzw. 23 MVA gebaut, eine für die damalige Zeit beachtliche technische Leistung.

Im Jahre 1926 übernahm Dr.-Ing. *Roser* die technische Leitung der Maschinenbau-AG Balcke in Bochum, die er bis 1936 innehatte. Während dieser Zeit beschäftigte er sich vor allem mit dem Kühlerbau. Der Ventilator Kühler, der heute allgemein zur technischen Ausrüstung moderner Kraftwerke gehört, war eine seiner Ideen. Ebenso baute *Roser* im Jahre 1930 die ersten Ventilator-Heizöfen für Wohnräume, die heute gleichfalls sehr verbreitet sind. *fi*

E. Sasse. — Fabrikant Dr. oec. *Eugen Sasse*, Gesellschafter der Dr. Eugen Sasse KG, Schwachstrom-Bauelemente-Fabrik, Schwabach bei Nürnberg, vollendete am 9. März 1960 sein 65. Lebensjahr. *Sasse* wurde in Stettin geboren. Sein Studium in Leipzig schloß er 1920 als Ingenieur ab. Dann war er als Konstrukteur beim Walchenseekraftwerk tätig. Ab 1925 leitete er das technische Büro von Mix & Genest in Nürnberg. Ein erneutes Studium an der Hochschule für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Nürnberg, schloß *Sasse* 1933 mit der Diplomprüfung und 1935 mit der Promotion zum Doktor der Wirtschaftswissenschaften ab. Von 1937 bis 1945 war Dr. *Sasse* zunächst Prokurist und dann Direktor in der Nürn-



berger Schraubenfabrik und Elektrowerk GmbH (NSF). 1946 gründete er das eigene Unternehmen, das auf Grund eigener Erfindungen die Fertigung von Präzisionsbauelementen der Schwachstromtechnik aufnahm.

Dr. *Eugen Sasse* war — neben dem Aufbau seines Werkes — Mitbegründer des Zentralverbandes der Elektrotechnischen Industrie und ist heute dort noch Vorstandsmitglied. Seit zwölf Jahren ist er Vorsitzender der Fachabteilung „Schwachstromtechnische Bauelemente“, Mitglied von Arbeitsgemeinschaften des „Fachnormenausschusses Elektrotechnik“ und Vorsitzender der Arbeitsgruppe „Fernmeldegerät“ im Bundesverband der Deutschen Industrie. *Sasse* trat durch Veröffentlichungen und Vorträge auf dem Gebiet der Elektrotechnik und Wirtschaftswissenschaften hervor. *fi.*

H. Haaren. — Am 3. März 1960 war Obering. *Heinrich Haaren* 25 Jahre bei der Firma J. Helmke & Co., Werk für Elektromaschinen, Hannover-Wülfel, tätig. *fi*

K. Johannsen. — Dr.-Ing. *Klaus Johannsen*, Leiter der Technisch-Literarischen Abteilung der AEG, beging am 27. Februar 1960 den Tag seiner 25-jährigen Firmenzugehörigkeit. Nach dem Studium der Starkstromtechnik an der TH Berlin trat er 1935 in die Apparatefabrik der AEG in Berlin-Teptow ein; 1942 übernahm er als Laboratoriumsleiter die Entwicklung der Elektronenstrahl-Oszillographen. Im gleichen Jahr promovierte er an der TH Danzig.

Seit Kriegsende war Dr. *Johannsen* in der Fabrikleitung tätig, bis er 1949 mit der Führung der technisch-literarischen Arbeit in der AEG betraut wurde. Unter seiner Leitung erscheinen seit 1951 die AEG-Mitteilungen wieder. Eine ganze Reihe von firmeneigenen Veröffentlichungen geht auf seine Initiative zurück. In den Kreisen der technischen Fachpresse genießt Dr.-Ing. *Johannsen* ein gutes Ansehen wegen der engen Verbundenheit, die er seit jeher als wichtige Voraussetzung für eine gedeihliche Zusammenarbeit betrachtet hat. *fi.*



JUBILÄUM

80 Jahre Elektrotechnischer Verein Berlin. — Am 20. Dezember 1959 konnte der Elektrotechnische Verein Berlin e. V. auf sein achtzigjähriges Bestehen zurückblicken. Aus diesem Anlaß fand im Theatersaal der Berliner Kongreßhalle eine Festsitzung statt.

Der erste Vorsitzende, Prof. Dr.-Ing. *Rothert*, wies in seiner Begrüßungsansprache darauf hin, daß die Festversammlung eine zweifache Bedeutung habe, einmal um das Fest des achtzigjährigen Bestehens zu feiern, zum anderen deshalb, weil es gerade 10 Jahre her seien, seitdem der Elektrotechnische Verein nach den Wirren des Krieges wiedererstand ist. „Damals waren es Direktor *Besold*, Professor *Rachel* und Dr. *Zimmermann*“, so führte Prof. *Rothert* aus, „die sich um die Wiedergeburt unseres Vereins unvergängliche Verdienste erworben haben. Auf Grund ihrer Bemühungen wurde im August 1949 die offizielle Lizenzierung unseres Vereins ausgesprochen und im Dezember 1949 der Verein in das Vereinsregister eingetragen. Dipl.-Ing. *Schmidt*, unser jetziger Kassenprüfer, hat damals seinen Namen unter die Anmeldung in das Vereinsregister gesetzt und damit — entsprechend den Bestim-

mungen des alliierten Kontrollrates — die Verantwortung dafür übernehmen müssen, daß der Verein eine freie Vereinigung von Ingenieuren und nicht an politische Parteien gebunden ist. So ist der Elektrotechnische Verein Berlin im Jahre 1949 wiedererstand. In Auswirkung dieser Tatsache wurde uns im Jahre 1951 das im Jahre 1930 erbaute VDE-Haus von der Besatzungsmacht zurückgegeben. Das Gebäude war 1945 zu fast 90% ausgebrannt und wurde darauf, dank der ununterbrochenen Bemühungen unseres Geschäftsführers *Herbert Herrmann*, wieder auf den heutigen Stand gebracht."

"Die 80 Jahre des Bestehens unseres Vereins", so fuhr der Vorsitzende fort, "haben insofern eine besondere Bedeutung, weil sie fast gleichbedeutend mit den 80 Jahren der Entwicklung der Elektrotechnik sind. Zur Zeit der Gründung des Vereins im Jahre 1879 begann der Siegeszug der Elektrotechnik über die ganze Welt. Telegraphie, Fernsprechtechnik, Elektromaschinenbau und elektrische Kraftanlagen sind aus ihren damaligen Anfängen zu dem geworden, was sie heute sind. Im Laufe der Zeit sind zu diesen Gebieten ganz neue Gebiete, wie die Hochfrequenztechnik, die Regelungstechnik, die Elektronik, dazugekommen."

Dies ist nicht nur der Arbeit der Ingenieure im Laboratorium, im Büro, in Fabrik und Werkstatt zu danken, sondern diese Entwicklung wurde auch gefördert durch den freien Zusammenschluß der Ingenieure in den Elektrotechnischen Vereinen. Unser Elektrotechnischer Verein Berlin hat, da er am Ort der Geburt und der Entwicklung der Elektrotechnik seinen Sitz hat, durch die seit seinem Bestehen regelmäßig veranstalteten Zusammenkünfte, Fachvorträge und die sich daraus ergebenden Diskussionen einen besonderen Anteil an dieser Entwicklung. Besonderen Zuspruch der Mitglieder fanden stets die vom Verein durchgeführten Jungingenieur-Kurse, die wir nach der Neugründung des Vereins wieder ins Leben gerufen hatten. Dr. Gärtner und Dr. Leiner haben sich in den letzten Jahren hierbei besondere Verdienste erworben."

Die Mitgliederzahl des Berliner Elektrotechnischen Vereins ist dank dieser Veranstaltungen ständig gestiegen, von 350 Mitgliedern im Jahre 1949 auf 1350 Mitglieder im Jahre 1954. Ab 1955 liegt die Mitgliederzahl bei etwa 1400. Man ersieht aber aus diesen Zahlen, daß nach dem starken Anwachsen nach dem Wiedererstehen des Vereins in den letzten Jahren eine gewisse Sättigungerscheinung zu erkennen ist. Dies ist, obwohl laufend Zugänge neuer Mitglieder zu verzeichnen sind, darauf zurückzuführen, daß viele der ehemaligen Mitglieder heute aus dienstlichen Gründen anderen elektrotechnischen Bezirksvereinen angehören und Ostmitglieder aus politischen Gründen dem Verein fernbleiben.

Vom Verband Deutscher Elektrotechniker Frankfurt a. M., überbrachte Prof. Dr.-Ing. Gundlach als dessen stellvertretender Vorsitzender Glückwünsche und ging dabei auf die Nachkriegsgeschichte des Gesamtverbandes ein.

Prof. Rotherl zeichnete anschließend wiederum eine Reihe von Mitgliedern, die dem Berliner Verein 40 bzw. 25 Jahre angehören, mit der goldenen bzw. silbernen Ehrennadel aus. Die goldene erhielten 5 Mitglieder: Ing. Carl Baur, Obering. E. F. Beyer, Ing. Erich Rummel, Dr. techn. h. c. Dr. med. h. c. Hans Ollrog, Dr.-Ing. Wilhelm Zimmermann.

Die silberne Ehrennadel erhielten 33 Mitglieder, so daß der Elektrotechnische Verein Berlin seit dem Beitritt zum VDE vor 2 Jahren insgesamt 34 goldene und 128 silberne Ehrennadeln verliehen hat.

Die Feier wurde mit einem Festvortrag „80 Jahre elektrische Maschinen“ beschlossen, der von Prof. Dr. techn. Dr.-Ing. Dr. phil. Dr.-Ing. E. h. Sequenz, TH Wien, gehalten wurde.

BÜCHER

DK 431.164 : 621.396+621.3

Lexikon der Hochfrequenz-, Nachrichten- und Elektrotechnik. Bd. 2. Hrsg. C. Rint. Mit 808 S., zahlr. B. u. Taf., Format 12 cm × 17 cm. Verlag Technik, Berlin, und Porta Verlag KG, München 1959. Preis Kunstldr. 28,75 DM.

Über Aufbau und Zweck des Lexikons wurde bereits bei Erscheinen des ersten Bandes referiert [ETZ-A Bd. 80 (1959) S. 286].

Abschluß des Heftes: 31. März 1960

Schriftleitung: Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6; Fernruf 4 31 57; Fernschreiber (Telex) 04—12 871.

Hauptschriftleiter: Dr.-Ing. P. Jacottet (für den redaktionellen Teil verantwortlich).

Schriftleiter: Dipl.-Ing. H. Lübbars, Dipl.-Ing. F. Meske und Dipl.-Ing. K. Rangs.

Zuschriften für die Schriftleitung nicht an eine persönliche Anschrift sondern nur an: Schriftleitung der ETZ, Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6.

Der jetzt vorliegende zweite Band umfaßt die Buchstaben F bis J mit 3427 Stichwörtern und ist dem ersten analog angelegt. An einzelnen Stellen wäre in einer Neuauflage trotz der für ein handliches Lexikon erforderlichen Kürze eine noch stärkere Präzisierung und gegenseitige Abstimmung von Definitionen wünschenswert; beispielsweise werden „Grammatom“ (G 555) und „Grammolekül“ (G 559) als „Menge“ eines Elementes oder chemisch einheitlichen Stoffes definiert, während das „Grammäquivalent“ (G 554) als Quotient Grammatom/Wertigkeit eingeführt und der „Anzahl Gramm“ eines Stoffes gleichgesetzt wird. Den Abdruck der Benutzungsanweisungen, d. h. der Seiten IV bis VI des ersten Bandes in allen Folgebänden, würde der Leser sicher sehr begrüßen. Dem gesamten Lexikon kann man nur nochmals ein baldiges Erscheinen der noch ausstehenden Bände und eine weite Verbreitung wünschen.

U. Stille

BRIEFE AN DIE SCHRIFTLEITUNG

Über das Schwingungsverhalten von Wechselstrommaschinen-Ständern mit Rundschnitt-Blechpaketen

DK 621.3.018.6 : 621.313.3.043.2

Zu dem in ETZ-A Bd. 80 (1959) S. 33—39 erschienenen Aufsatz hat Dr. E. A. Erdélyi, Erie (Pennsylvania), mitgeteilt, daß er mit einigen Mitarbeitern in den USA in den letzten Jahren sich ebenfalls mit magnetisch erregten Schwingungen von elektrischen Maschinen mit Komplettschnitten (mittlerer bis kleiner Leistung) beschäftigt hat [1 bis 4]. Ich danke Dr. Erdélyi für die uns übersandten Veröffentlichungen und begrüße es, daß wir die vorher nur auszugswise bekannten Untersuchungen näher kennenlernen konnten.

Die theoretischen Arbeiten bringen gegenüber den früher diskutierten Abhandlungen von Jordan [5] zwei Erweiterungen. Es wird eine Kopplung zwischen Blechpaket und Gehäuse in Rechnung gesetzt, und für die Bestimmung der Schallabstrahlung wird die Maschine nicht als Kugelstrahler, sondern als Zylinderstrahler angenommen. Die wichtigen Einflüsse der Aufstellung (Kopplung zwischen Gehäuse und Fundament) und der Materialdämpfung werden aber in den Voraussetzungen vernachlässigt. Die Berechnung der Koppelschwingungen wird ferner mit der einfachen Biegetheorie durchgeführt. Damit werden die von der endlichen radialen Dicke der Blechpakete bedingten Einflüsse der Achsdehnung, Rotationsträgeit der Querschnitte und des Schubkrafteinflusses nicht berücksichtigt, wodurch ganz erhebliche Abweichungen der so berechneten Eigenfrequenzen von den gemessenen zu erwarten sind, wie experimentelle Untersuchungen an Ringen mit Abmessungen der in Deutschland üblichen Maschinenständer gezeigt haben.

Obwohl diese Theorie für den Bereich der Maschinen mittlerer Leistung deshalb noch keine quantitative Darstellung ihres magnetischen Geräuschverhaltens erwarten läßt, dürfte ein interessanter Beitrag bezüglich der schwierigen, theoretischen Erfassung der magnetisch erregten Ständerschwingungen geliefert sein.

- [1] Erdélyi, E. A.: Predetermination of the sound pressure levels of magnetic noise in medium induction motors. Diss. University Ann Arbor (Mich.) 1955.
- [2] Erdélyi, E. A.: Predetermination of sound pressure levels of magnetic noise of polyphase induction motors. Trans. Amer. Inst. electr. Eng. (Power App. & Syst.) Bd. 74 (1955) S. 1269—1280.
- [3] Erdélyi, E. A., u. Horvay, G.: Vibration modes of stators of induction motors. Appl. Mech. Bd. 28 (1956) S. 1—7.
- [4] Alger, L., u. Erdélyi, E. A.: Calculation of the magnetic noise of polyphase induction motors. J. acoust. Soc. Amer. Bd. 28 (1957) S. 1063—1067.
- [5] Jordan, H.: Der geräuscharme Elektromotor. Verlag W. Girardet, Essen 1950.

G. Hübner

Folgende Aufsätze erschienen in der ETZ-Ausgabe B vom 7. April 1960:

Heft 7

V. Aigner: Senkung, Abfuhr und Verwertung der Transformatoren-Verlustwärme.

W. Koch: Erdungsfragen.

K. Potthoff: Isolierstoffe in der Hochspannungstechnik.

Schluß des Textteiles

Verlag und Anzeigenverwaltung: VDE-Verlag GmbH, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33, Fernruf 34 01 41, Fernschreiber (Telex) 01—84 083.

Anzeigenleitung: Kurt Tolzauer.

Bezugspreis (halbjährlich zuzügl. Zustellgebühr) 22,— DM, für VDE-Mitglieder - nur durch den VDE-Verlag - 14,— DM;

Ausgabe A und B zusammen 30,— DM,

für VDE-Mitglieder - nur durch den VDE-Verlag - 21,— DM.

Einzelpreis dieses Heftes 2,— DM.

Druck: Deutsche Zentraldruckerei AG, Berlin SW 61, Dessauer Straße 6/7.